



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR PALOTINA

ANGELA LETICIA LAVANHOLLI

**COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO E ÍNDICE DE QUALIDADE DE
ÁGUA NO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DE ITAIPU LOCALIZADO
NO BRAÇO DO RIO OCOÍ**

PALOTINA

2021

ANGELA LETICIA LAVANHOLLI

**COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO E ÍNDICE DE QUALIDADE DE
ÁGUA NO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA DE ITAIPU LOCALIZADO
NO BRAÇO DO RIO OCOÍ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Ciências Biológicas Bacharelado da
Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina
como requisito à obtenção do título de grau de
Bióloga.

Orientadora: Prof^a Dra. Dilemara Cristina
Zenatti

Co- Orientadora: Simone Frederigi Benassi

PALOTINA

2021

TERMO DE APROVAÇÃO

ANGELA LETICIA LAVANHOLLI

COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO E ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA NO RESERVATÓRIO DA ITAIPU LOCALIZADO NO BRAÇO DO RIO OCOÍ

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Ciências Biológicas bacharelado da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina como requisito à obtenção do título do grau de Bióloga, pela seguinte banca examinadora:

Profª Drª Dilcemara Cristina Zenatti (Orientadora)

Profª Drª Lucíola Thais Baldan (Membro)

Profª. Drª. Lilian Dena dos Santos (Membro)

Drª. Andréia Isaac

Palotina, 16 de agosto de 2021

Agradecimentos

Primeiramente devo agradecer a quem me concedeu a incrível oportunidade de trabalhar na Usina Hidrelétrica de Itaipu, ao engenheiro agrônomo Irineu Motter. A minha co-orientadora do local Simone Frederigi Benassi e também a Jussara Elias de Souza, a Cristiane Dotto e a toda equipe do escritório da divisão de reservatório de Itaipu – MARR.CD, por me confiar acesso ao banco de dados do monitoramento do reservatório de Itaipu.

A minha orientadora da Universidade Federal do Paraná professora Dra. Dilcemara Cristina Zenatti que foi de grande importância em todas as etapas do trabalho.

Aos meus pais José Angelo Lavanholli e Cristiane da Silva Lavanholli que foram meus exemplos de vida.

A querida Soelci que me alugou um quarto em sua casa para ficar no tempo em que estive na cidade de Foz do Iguaçu.

Ao Everton dos Santos de Pádua que me acompanhou nos momentos difíceis e me incentivou a me dedicar mais a este trabalho.

A todos os meus familiares e amigos que de alguma forma me auxiliaram em todo esse processo da graduação e na realização deste trabalho.

RESUMO

As construções de hidrelétricas geram ecossistemas artificiais como os reservatórios, que possuem uma grande importância estratégica porque dispõem de múltiplos usos, o que consequentemente impõe mudanças na qualidade da água dentro destes ambientes. Baseado nessas ideias, este trabalho aborda informações científicas e dados gerados pela Usina Hidrelétrica de Itaipu – Brasil, visando analisar a qualidade da água e o estado trófico de duas estações sendo estação 13 e estação E-20, localizadas no braço do reservatório do rio Ocoí, durante o período de janeiro de 10 até março de 2021, que disponibiliza informações que possam servir como um indicativo para uma melhor conservação, manejo e melhoria na qualidade de água. Os dois índices abordados possuem suas classificações, onde a maioria das variáveis possuem um limite proposto pela Resolução CONAMA 357/05 para rios de classe 2. Os resultados obtidos a partir do Índice de Qualidade de Água de Reservatório – IQAR, mostra que os valores mais altos são da estação E-20 tendo predominância na classe 3 e estação 13 na classe 2. No Índice de Estado Trófico não foi diferente, observa-se que a estação E-20 é classificada mais como eutrófica sendo mais degradada que estação 13 que possui predominância na classificação oligotrófica. A partir da análise de correlação linear observa-se que os dois índices se correlacionam positivamente, mostrando que estação E-20 é mais alterada por conta de menor tempo de autodepuração, menor profundidade e carga de nutrientes recebida mais elevada.

Palavras-chave: Indicadores de qualidade ambiental, Itaipu Binacional, Monitoramento ambiental.

ABSTRACT

The construction of hydroelectric plants form artificial ecosystems such as reservoirs, which have a great strategic importance because they have multiple uses, which consequently impose changes in the quality of water within these environments. Based on these ideas, this work addresses scientific information and data generated by the Itaipu Hydroelectric Power Plant – Brazil, aiming to analyze the water quality and trophic status of two stations, station 13 and station E-20, located in the Ocoí river reservoir arm , from January 10 to March 2021, which provides information that can serve as an indication for better conservation, management and improvement in water quality. The two indices discussed have their classifications, where most variables have a limit proposed by CONAMA Resolution 357/05 for class 2 rivers. The results obtained from the Reservoir Water Quality Index – IQAR, show that the most values high are from the E-20 station, predominantly in class 3 and station 13 in class 2. In the Trophic State Index it was no different, it is observed that the E-20 station is classified more as eutrophic, being more degraded than station 13 which has predominance in the oligotrophic classification. From the linear correlation analysis, it is observed that the two indices are positively correlated, showing that the E-20 station is more altered due to shorter self-cleaning time, less depth and higher nutrient load received.

Keywords: Environmental quality indicators, Itaipu Binacional, Environmental monitoring.

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN – Balanço Energético Nacional
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CL - Clorofila
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
DQO – Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IAP – Instituto Ambiental do Paraná
IAT – Instituto Água e Terra
IET – Índice de Estado Trófico
IQAR – Índice de Qualidade de Água de Reservatório
mg.L⁻¹ – Miligrama por Litro
N-NH₃ – Nitrogênio amoniacal não ionizado
N-NH₄⁺ – Nitrogênio amoniacal ionizado
PTotal – Fósforo Total
SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente
UHE – Usina Hidrelétrica
µg.L⁻¹ - Micrograma por Litro

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS	7
1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVO	12
3. JUSTIFICATIVA	13
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
4.1. Usina Hidrelétrica	14
4.2. Classificação de águas.....	15
4.3. A importância do Monitoramento em Reservatório.....	16
4.4. Monitoramento no Reservatório de ITAIPU	17
4.5. Autodepuração.....	18
4.6. Índices De Monitoramento Ambiental	19
4.6.1. Índice de Qualidade de Água em Reservatório (IQAR).....	19
4.7. Parâmetros utilizados.....	23
4.7.1. Déficit Oxigênio Dissolvido	23
4.7.2. Fósforo	23
4.7.3. Clorofila a.....	24
4.7.4. Transparência	25
4.7.5. Demanda Química de Oxigênio (DQO)	26
4.7.6. Nitrogênio Inorgânico Total.....	27
4.7.7. Fitoplâncton (Cianobactérias).....	29
4.7.8. Tempo de Residência	29
4.7.9. Profundidade	30
4.8. Índice de Estado Trófico.....	30
5. MATERIAIS E MÉTODOS	33
5.1. Área de estudo.....	33
5.2. Índice De Qualidade De Água De Reservatório (IQAR).....	34
5.3. Índice De Estado Trófico (IET)	35
5.4. Correlação linear.....	36
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
6.1. Resultados Obtidos Do IQAR.....	38
6.1.1. Déficit Oxigênio Dissolvido.....	42
6.1.2. Fósforo	43

6.1.3. Clorofila a	43
6.1.4. Transparência	44
6.1.5. Demanda Química de Oxigênio (DQO)	44
6.1.6. Nitrogênio Inorgânico Total.....	45
6.1.6. Fitoplâncton (Cianobactérias).....	47
6.1.8. Tempo de Residência	47
6.1.9. Profundidade	48
6.2. Resultado do Índice de Qualidade de Água de Reservatório IQAR.....	48
6.3. Resultados obtidos a partir do IET.....	50
6.4. Resultado do Índice de Estado Trófico	52
6.5. Correlação de IQAR e IET	53
CONCLUSÃO	55

1. INTRODUÇÃO

A base elétrica brasileira é conhecida por ser grande parte renovável, isso porque a maior fração da energia elétrica gerada no Brasil provém de usinas hidroelétricas (BEN, 2020 In: EPE, 2021). A evolução rápida de usinas hidrelétricas aconteceu nas décadas de 60 e 70 e muitas estão em funcionamento até hoje, um exemplo é a Usina Hidrelétrica de Itaipu, localizada no rio Paraná, na fronteira entre Brasil e Paraguai, sendo considerada uma das maiores usinas do mundo (CARDOSO, 2011).

As estruturas hidrelétricas compõem ecossistemas artificiais como os reservatórios que apresentam uma grande importância estratégica porque dispõem de variados usos (TUNDISI et. al, 2008; CARDOSO et. al., 2011). No reservatório de Itaipu, são realizadas atividades de irrigação, captação de água para abastecimento, criação de tanques-rede e praias artificiais (ITAIPU, 2010).

Apesar dos benefícios, a construção de barragens, e a consequente formação de lagos artificiais, impõe mudanças nas qualidades físicas e químicas dos corpos hídricos e promove alterações nas interações bióticas dentro do ecossistema (ESTEVES, 2011; HAHN et. al., 1998).

Acrescentado as mudanças ocorridas em razão da construção de um reservatório, também deve ser levado em conta o crescimento populacional em torno do mesmo. Esse crescimento leva ao aumento de efluentes domésticos e industriais, os quais em muitos casos são lançados diretamente nos ecossistemas aquáticos. Esses fatores associados a utilização de fertilizantes químicos e ao uso de agrotóxicos tem modificado a característica dos corpos d'água continentais, o que contribui para a aceleração do processo de eutrofização e, conseqüentemente para a proliferação de plantas aquáticas e a ocorrência de cianobactérias (ESTEVES, 2011; TUNDISI et. al, 2008, HENRY et. al., 2004; CARVALHO, 2011).

Dentro deste contexto, este trabalho exhibe um parecer do estado da qualidade das águas do rio Ocoí, que é um importante tributário do Reservatório de Itaipu, utilizando Índice de Qualidade de Água de Reservatório (IQAR); que avalia nove parâmetros físicos, químicos biológicos (fitoplâncton); e o Índice de Estado Trófico (IET); cujos resultados; permitem fazer relações importantes com as ações antrópicas. O referido estudo avalia dois pontos

amostrais, nomeados por duas estações diferentes (Estação 13 e estação E-20), situados no reservatório do braço do rio Ocoí.

2. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é correlacionar o Índice de qualidade de água de reservatório e Índice de estado trófico nas estações 13 e E-20 dos reservatórios da Usina Hidrelétrica de Itaipu, localizado no rio Ocoí no estado do Paraná, utilizando o levantamento de dados históricos da Usina Hidrelétrica de Itaipu, com o auxílio do Instituto Água e Terra (IAT) no período de janeiro de 2010 a março de 2021.

3. JUSTIFICATIVA

No presente trabalho, serão utilizados dois índices de grande importância para o monitoramento das estações dos reservatórios, sendo 1º Índice de Qualidade de Água de Reservatório e 2º Índice de Estado Trófico, para designar se a qualidade da água está sendo afetada pelas ações antrópicas do local. Os sistemas de monitoramento da qualidade de água dos recursos hídricos consistem na obrigação de proteger a sobrevivência das gerações futuras, e fazem parte da ideia de desenvolvimento sustentável.

Baseado nessas ideias, este trabalho apresenta como justificativa compor as informações científicas e os dados gerados, neste caso pela Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional (UHE) visando avaliar a qualidade da água e o estado trófico de duas estações de um braço do reservatório, de forma a disponibilizar informações que possam servir como um indicativo para uma melhor conservação, manejo, melhoria de qualidade da água e aperfeiçoamento dos usos múltiplos neste ecossistema.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Usina Hidrelétrica

A energia elétrica é um dos constituintes essenciais na sociedade, sendo indispensável para o seu progresso e desempenho, sendo extensivamente utilizada nas ações diárias da população. A eletricidade pode ser gerada a partir de várias fontes como, por exemplo, sol, biomassa, vento, força das águas, as quais são fontes renováveis de energia, e combustíveis fósseis e nuclear sendo os não renováveis (CARDOSO, 2011).

O Brasil aproveita uma sustentação elétrica predominantemente de fontes renováveis com destaque em origens hídricas com representatividade de 66,6% do consumo interno do país. A produtividade interna de energia elétrica brasileira é somada com 83,3% de formas renováveis (BEN, 2019).

Para Espíndola et. al. (2000), o complicado suporte dos reservatórios procede do estado trófico (relativo ao enriquecimento artificial e ao tempo de formação) e a condução operacional (vazão e tempo de retenção) que formam variados compartimentos dentro do ecossistema. O reservatório de Itaipu é definido pelo conceito de compartimentação dendrítica que possui morfometria complexa e alto índice de desenvolvimento da margem (TUNDISI et. al, 2008).

Segundo Tundisi et. al (2008), o método utilizado na construção de represas afeta as características físicas, químicas e biológicas natural dos locais, por isso, esses sistemas devem apoiar-se em um constante sistema de monitoramento ambiental com profundos conhecimentos técnicos de limnologia para um controle positivos destes ambientes.

Os reservatórios artificiais possuem grandes interações sendo ecológicas, econômicas e sociais com as bacias hidrográficas associados a eles. Um sistema complexo como de um reservatório constitui-se de inúmeros componentes que interagem no mesmo espaço e tempo. Para entender os problemas de funcionamento destes ambientes é necessário métodos diversos de observação, experimentação e mensuração. Redes e inter-relações, efeitos diretos e indiretos devem ser estudados qualitativa e quantitativamente no local (TUNDISI, 2008).

Assim sendo, nota-se a obrigação de monitoramentos de água de reservatórios por via de coletas e análises de parâmetros físicos, químicos e biológicos adaptando-se a classificação do estado e a evolução da qualidade

das águas ao longo do tempo. É uma atividade de difícil interpretação em razão de possuir inúmeros dados analíticos (CARDOSO, 2011).

Desta forma, para facilitar os estudos e antecipar o manejo, numerosos gestores utilizam os nominados índices, que resumem em um único ou em poucos valores o conjunto de informações obtidas. Os índices de qualidade das águas são apresentados objetivando resumir os parâmetros analisados, pretendendo expor a evolução da qualidade da água no tempo e no espaço (GASTALDINI E SOUZA, 1994; CARDOSO, 2011). Como exemplos de índices tem-se o Índice de Qualidade de Água de Reservatório desenvolvido pelo Instituto Água e Terra (IAT), antigo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), e o Índice de Estado Trófico (IET) proposto por Carlson e modificado por Toledo et. al. (1983), os quais são utilizados nos programas de monitoramento no reservatório de Itaipu (CARDOSO, 2011).

A localização estudada neste trabalho são as estações 13 e E-20 localizadas no braço do reservatório, rio Ocoí e são classificadas pela Agência Nacional das Águas de acordo com a Resolução CONAMA 357/05 como rios de classe 2 que descreve na seção I das águas doces, como águas que podem ser destinadas ao abastecimento para o consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e à aquicultura e à atividade de pesca.

4.2. Classificação de águas

A característica da água é uma soma de particularidades de natureza física, química e biológica, que garante estipulado grupo de usos, necessitando estar de acordo com certas normalidades previstas na legislação vigente para que estes possam ser viabilizados (DERISIO, 2007).

Um exemplo é a Resolução CONAMA 357/05, que tem como propósito direcionar e dar diretrizes para as leis, decretos e portarias, proporcionando a classificação dos corpos hídricos e condutas ambientais para o seu enquadramento, determinando, desta forma as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2018), o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA é o órgão consultivo deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, foi instituído pela Lei 6.938/81 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto 99.274/90. Ainda na portaria do Ministério do Meio Ambiente (2018), aborda que são atos do CONAMA:

Resoluções, quando se tratar de deliberação vinculada a diretrizes e normas técnicas, critérios e padrões relativos à proteção ambiental e ao uso sustentável dos recursos ambientais; Moções, quando se tratar de manifestação, de qualquer natureza, relacionada com a temática ambiental; Recomendações, quando se tratar de manifestação acerca da implementação de políticas, programas públicos e demais temas com repercussão na área ambiental; E proposições, quando se tratar de matéria ambiental a ser encaminhada ao Conselho de Governo (MMA, 2019).

4.3. A importância do Monitoramento em Reservatório

Segundo a Resolução Conjunta ANA/ANEEL 03/2010 (BRASIL, 2010), a fiscalização da qualidade da água deve ser exercida em reservatórios com dimensão maior que 3 km², que é imposta pela Agência Nacional de Águas (ANA) mediante as notas técnica de consentimento do projeto e relatório de instalação da estação hidrométrica. Nos arredores de reservatórios de água, pelo fato da abundância de fauna e flora, e pelas atividades de subsistência e comércio de comunidades que empregam a água, como pela pesca, ou ainda de outras atividades que envolvem o contato direto com a água essa Resolução torna-se essencial.

Os reservatórios dispõem um grande significado e importância, pois são usufruídos como apoio para o desenvolvimento regional por contemplarem os benefícios dos usos múltiplos das águas, tais como, abastecimento humano e animal, regularização de cursos, irrigação, navegação, recreação, paisagismo, controle de enchentes, saneamento básico, entre outros (CARVALHO, 2011).

É de suma relevância considerar a qualidade da água dos recursos hídricos, para auxiliar os tomadores de decisão para determinar as ações preventivas e corretivas sobre o ecossistema atingido.

Lamparelli (2004) diz que a presença de uma rede permanente de monitoramento é essencial para uma avaliação da qualidade ambiental, contudo, seu planejamento e manutenção contam com limitações, inclusive de ordem material. Consequentemente, é indispensável uma argumentação fundamentada de sua composição, ponderando as variáveis examinadas, os pontos de amostragem, a frequência e a exibição dos parâmetros, contendo os índices de qualidade adotados.

4.4. Monitoramento no Reservatório de ITAIPU

O programa de Monitoramento distingue prováveis eventos discrepantes e pontos críticos na bacia hidrográfica, em que necessita de alerta em relação a qualidade da água para manutenção dos usos diversos, visando atestar a segurança hídrica (ITAIPU, 2018).

De acordo com Itaipu (2018), para atingir os objetivos, a Usina de Itaipu retém uma abundância histórica de dados desde antes do enchimento do reservatório, como uma rede de monitoramento com estações localizadas no corpo central e braços do Reservatório, totalizando 13 estações de amostragem. Estas estações são de extrema relevância para a ponderação das disposições do ecossistema. Além dos benefícios para a população o Monitoramento serve para os Comitês de Bacia, por auxiliar na construção de planos de bacia e saneamento, o que estrutura as tomadas de decisões nos padrões de qualidade das águas e seus múltiplos usos.

IAP (2016) ressalta que o sistema de monitoramento da qualidade de água de um reservatório é conceituado como um compilado de dados sobre características físicas, químicas e microbiológicas da água. Com a junção desses dados é plausível avaliar se as condições de desenvolvimento socioeconômico de uma região estão alterando a qualidade da água.

O reservatório de Itaipu obtém um histórico de dados limnológicos abundantes, expostos como monitoramento de longo período. Em 1977, antes do represamento do rio Paraná, já havia uma rede de monitoramento que é utilizada até os dias de hoje, consentido que seja realizado um acompanhamento em longo prazo do estado deste ecossistema. Esse monitoramento apresenta proposições para se testar hipóteses e realizar

prognósticos sobre a dinâmica de funcionamento do reservatório (CARDOSO, 2011).

4.5. Autodepuração

Ao decorrer dos últimos anos, o homem vem interferindo de forma negativa nas águas naturais com despejos biológicos e químicos. Estes resíduos causam alterações nos ecossistemas aquáticos (biota e microbiota), gerando problemas ambientais e de saúde (LEVORINO, 2019).

Segundo Paula (2011), a autodepuração é a capacidade dos corpos de água de restabelecerem o equilíbrio do meio aquático por meio de mecanismos naturais após as alterações provocadas pelos despejos dos efluentes, surge como opção quando utilizados critérios técnicos.

Os elementos biológicos e químicos lançados no corpo hídrico destinam-se a ser biodegradados de forma natural pelos microrganismos, mas quando lançados em abundância causam um desequilíbrio entre a produção e o consumo de oxigênio, tornando a degradação destes compostos mais demorada e complexa (LEVORINO, 2019).

Levorino (2019), ainda destaca que no decorrer da autodepuração, é plausível observar, no decurso do trecho, 4 zonas no qual as concentrações de DBO, oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio, fósforo e entre outros alteram-se.

A Figura 1 expõe as transições das concentrações e como elas afetam a os organismos aquáticos:

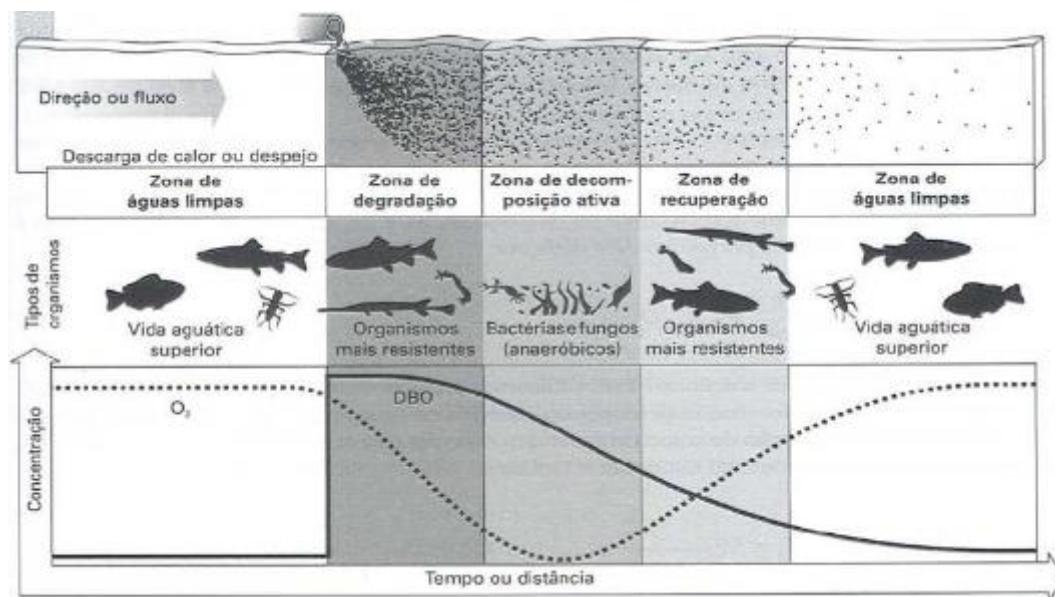


Figura 1: Zonas de autodepuração e os tipos de microrganismos em cada zona

Fonte: Braga et. al, 2005 In: LEVORINO, 2019.

4.6. Índices De Monitoramento Ambiental

O monitoramento de índices ambientais é utilizado para supervisão do comportamento de fenômenos, eventos e situações específicas, cujas condições desejamos identificar, avaliar e comparar. Desta forma, é possível estudar e verificar as condições presentes, projetando situações futuras. O monitoramento ambiental fornece dados sobre os fatores que controlam o estado de conservação, preservação, degradação e recuperação ambiental (AMORIM, 2021).

Segundo Instituto Água e Terra – IAT (2004), vem desenvolvendo desde 1982 em parceria com a Itaipu Binacional, os trabalhos de avaliação e monitoramento da qualidade das águas do rio Paraná e Reservatório de Itaipu.

O monitoramento possibilita o conhecimento da situação atual da qualidade das águas e suas eventuais alterações e tendências de longo prazo, além de diagnosticar os padrões vigentes na legislação (resolução 357/05 do CONAMA), conforme enquadramento proposto nos rios em função do seu uso, e ainda garantir a balneabilidade das praias artificiais do reservatório conforme disposto na resolução 274/00 do CONAMA na temporada de verão (novembro a março) (IAP, 2016).

4.6.1. Índice de Qualidade de Água em Reservatório (IQAR)

Segundo ANA (2021), o índice de qualidade de água de reservatório foi criado pelo Instituto Ambiental do Paraná – IAP para verificar a degradação da qualidade da água dos reservatórios.

Para avaliar o nível de degradação dos recursos hídricos para comprovar possíveis usos, são empregados índices de qualidade de água. Tais índices são capazes de ser caracterizados como instrumentos que transformam vários parâmetros em um ou poucos valores com o intuito de igualar e favorecer o entendimento dos dados adquiridos em um plano de monitoramento ambiental (GARCIA et. al, 2014).

Os índices de qualidade de água retratam a evolução na qualidade de água amostrada para que seja plausível a decisão dos usos destes

ecossistemas de acordo com o plano de gestão ambiental, tornando-se mais adequada e específica no sistema hídrico. Segundo Garcia et. al (2014), o IQAR classifica os reservatórios de acordo com os seguintes parâmetros: déficit de oxigênio dissolvido, fósforo total, clorofila a, transparência da água pelo Disco de Secchi a partir do cálculo da transparência da água x2,8 (ou 3) é o limite da zona eufótica, demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio inorgânico total (nitrato, nitrito, e nitrogênio amoniacal), comunidade fitoplanctônica (quantidade de cianobactérias), tempo de residência e profundidade média que foram definidos pelo IAT.

Foi desenvolvida pelo Instituto Água e Terra, uma matriz representativa das classes de qualidade de água e estabelecidas pelas porcentagens de 10%, 25%, 50%, 75% e 90% de cada um dos parâmetros utilizados sendo dispostas a seguir (Tabela 1):

Variáveis "i"	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V	Classe VI
Déficit de oxigênio (%)	≤5	6-20	21-35	36-50	51-70	>70
Fósforo Total (P-mg/L)	≤0,010	0,011-0,025	0,026-0,040	0,041-0,085	0,086-0,210	>0,210
Nitrog. Inorg. Total (N-mg/L)	≤0,15	0,16-0,25	0,26-0,60	0,61-2,00	2,00-5,00	>5,00
Clorofila a (µg.L ⁻¹)	≤1,5	1,5-3,0	3,1-5,0	5,1-10,0	11,0-32,0	>32
Disco de Secchi (m)	≥3	3-2,3	2,2-1,2	1,1-0,6	0,5-0,3	<0,3
DQO (mg/L)	≤3	3-5	6-8	9-14	15-30	>30
Tempo de residência (dias)	≤10	11-40	41-120	121-365	366-550	>550
Profundidade média (m)	≥35	34-15	14-7	6-3,1	3-1,1	<1
Cianobactérias (nº de céls./ml)*	≤1000	1001-5000	5001-20000	20001-50000	50001-100000	>100000

*modificada em 2008

Tabela 1: tabela da matriz de qualidade de água. Fonte: Instituto Água e Terra (2021).

No site do IAT (2021), também define que para a realização dos cálculos de IQAR as variáveis utilizadas devem adquirir pesos específicos de acordo com o seu grau de importância incorporado na avaliação da qualidade da água do reservatório mostrados na Tabela 2:

Variáveis “i”	Pesos Wi
Déficit de oxigênio dissolvido – (%)*	17
Fósforo Total- (O ² -mg/L)**	12
Nitrogênio Inorgânico Total – (N-mg/L)**	08
Clorofila a – (µg.L ⁻¹)***	15
Profundidade Secchi – (metros)	12
Demanda Química de Oxigênio – DQO – (O ² -mg/L)**	12
Cianobactérias - (nº de células/ml)***	08
Tempo de residência – (dias)	10
Profundidade média – (metros)	06

(*) média da coluna d'água; (**) média das profundidades I e II; (***) concentração da profundidade I.

Tabela 2: parâmetros da Qualidade da Água do IQA e respectivo peso. Fonte: Instituto Água e Terra (2021).

Na tabela 3 apresenta os limites propostos por IAT (2021) para a classificação do Índice de Qualidade de Água de Reservatório e abaixo está descrito a definição de cada classe presente na tabela:

DEFINIÇÃO	CLASSE	IQAR
Não Impactado a Muito Pouco Degradado	I	$\text{IQAR} \leq 1,5$
Pouco Degradado	II	$1,5 < \text{IQAR} \leq 2,5$
Moderadamente Degradado	III	$2,5 < \text{IQAR} \leq 3,5$
Criticamente Degradado a Poluído	IV	$3,5 < \text{IQAR} \leq 4,5$
Muito Poluído	V	$4,5 < \text{IQAR} \leq 5,5$
Extremamente Poluído	VI	$> 5,5$

Tabela 3: Classes de Qualidade de Água segundo os Índices de Qualidade de Água de Reservatórios (IQAR). Fonte: IAT, 2021.

A definição das classes propostas pelo IAP (2004), da qualidade de água de reservatório determinadas de acordo com seu nível de importância:

Classe I - Não Impactado a Muito Pouco Degradado: Corpos de água saturados de oxigênio, baixa concentração de nutrientes, concentração de matéria orgânica muito baixa, alta transparência das águas, densidade de algas muito baixa, normalmente com pequeno tempo de residência das águas e/ou grande profundidade média. Qualidade de água excelente/ótima;

Classe II - Pouco Degradado: Corpos de água com pequeno aporte de matéria orgânica e de nutrientes orgânicos e inorgânicos, pequena depleção de oxigênio dissolvido, transparência das águas relativamente alta, baixa densidade de algas, normalmente com pequeno tempo de residência das águas e/ou grande profundidade média. Qualidade de água muito boa/boa;

Classe III - Moderadamente Degradado: Corpos de água que apresentam um déficit considerável de oxigênio dissolvido na coluna de água, podendo ocorrer anóxia na camada de água próxima ao fundo, em determinados períodos. Médio aporte de nutrientes e matéria orgânica, grande variedade e/ou densidade de algas, sendo que algumas espécies podem ser predominantes, tendência moderada a eutrofização, tempo de residência das águas, considerável. Qualidade de água regular/aceitável;

Classe IV - Criticamente Degradado a Poluído: Corpos de água com entrada de matéria orgânica capaz de produzir uma depleção crítica nos teores de oxigênio dissolvido da coluna de água, aporte considerável de nutrientes, alta tendência a eutrofização, ocasionalmente com desenvolvimento maciço de populações de algas. Ocorrência de reciclagem de nutrientes, baixa transparência das águas associada principalmente à alta turbidez biogênica. A partir desta Classe é possível a ocorrência de mortandade de peixes em determinados períodos de acentuado déficit de oxigênio dissolvido. Qualidade de água crítica/ruim;

Classe V - Muito Poluído: Corpos de água com altas concentrações de matéria orgânica, geralmente com supersaturação de oxigênio dissolvido na camada superficial e depleção na camada de fundo. Grande aporte e alta reciclagem de nutrientes. Corpos de água eutrofizados, com florações de algas que frequentemente cobrem grandes extensões da superfície da água, o que limita a sua transparência. Qualidade de água muito ruim;

Classe VI - Extremamente Poluído: Corpos de água com condições bióticas seriamente restritas, resultantes de severa poluição por matéria orgânica ou outras substâncias consumidoras de oxigênio dissolvido. Ocasionalmente ocorrem processos de anóxia em toda a coluna de água. Aporte e reciclagem de nutrientes muito altos. Corpos de água hipereutróficos, com intensas florações de algas cobrindo todo o espelho d'água. Eventual presença de substâncias tóxicas. Qualidade de água péssima.

Observação: lagos limitados pela luz devido à alta turbidez abiogênica poderá enquadrar-se, normalmente nas classes de III a VI, dependendo das peculiaridades de cada reservatório, sendo que nestes casos, normalmente não ocorrem florações do fitoplâncton, devido à redução da zona eufótica.

4.7. Parâmetros utilizados

4.7.1. Déficit Oxigênio Dissolvido

As reduzidas concentrações de oxigênio na água interferem muito na sua qualidade, sendo que corpos d'água com valores de déficits de oxigênio dissolvido mais altos são classificados pelo IQAR como ambientes mais degradados do que aqueles com menores déficits (CARDOSO, 2011).

Para definir o déficit de oxigênio dissolvido faz-se o cálculo da diferença de 100% de saturação do oxigênio e a porcentagem de saturação média calculada para a coluna d'água (CARDOSO, 2011).

Dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio é um dos mais importantes na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos. Entende-se que saturação de oxigênio, sempre expressa em porcentagem, como sendo a quantidade máxima de oxigênio que pode ser dissolvida na água em determinada pressão atmosférica, salinidade, turbulência, presença de poluentes, atividade fotossintética de algas e plantas e temperatura (ESTEVES, 2011; IAP, 2017).

O oxigênio está envolvido ou influencia praticamente todos os processos químicos e biológicos e é essencial a todas as formas aeróbias de vida aquática. Segundo o IAP (2017) concentrações inferiores a 5 mg.L⁻¹ podem afetar de forma adversa o funcionamento e a sobrevivência das comunidades biológicas e concentrações abaixo de 2 mg.L⁻¹ podem ocasionar a morte da maioria dos peixes.

4.7.2. Fósforo

O fósforo é um dos parâmetros mais importantes para o estudo de ambientes aquáticos, devido à sua participação no metabolismo de seres vivos. Consiste num dos principais fatores limitantes para a sua produtividade primária destes ecossistemas, sendo um dos causadores do processo de eutrofização (ESTEVES, 2011).

As fontes naturais deste nutriente são as rochas da bacia de drenagem, e o fosfato resultante da decomposição de organismos de origem alóctone. As fontes artificiais mais importantes são os fosfatos, provenientes de efluentes

domésticos e industriais, dos fertilizantes agrícolas e do material particulado de origem industrial contido na atmosfera (IAP, 2009).

Por atuar como promotor causador do processo de eutrofização, os resultados obtidos ao fósforo, no IET, devem ser compreendidos como uma medida do potencial deste processo (CETESB, 2010; ESTEVES, 2011). Desta forma, o acréscimo na concentração de fósforo em ambientes aquáticos aponta um aumento no IET e no IQAR. Isto porque altos níveis deste nutriente favorecem o aumento das florações de algas e macrófitas aquáticas (CARDOSO, 2011).

Para Esteves (2011), a determinação das concentrações de fósforo na água é uma etapa fundamental para o monitoramento e controle da eutrofização artificial, bem como para o conhecimento dos padrões de ciclagem do fósforo em ambientes aquáticos.

O IAP (2017) aborda que o fósforo encontrado em águas superficiais pouco poluídas é raramente detectado pelos métodos analíticos disponíveis, isto porque este nutriente é rapidamente assimilado pelos vegetais. Como resultado, pode ser evidenciada uma flutuação sazonal nas concentrações de fósforo nas águas naturais associada aos ciclos de crescimento e senescência das populações fitoplanctônicas. Na maioria das águas naturais o fósforo varia entre 0,005 a 0,020 mg.L⁻¹.

De acordo com a resolução CONAMA 357/05, para a avaliação do fósforo, deve ser considerado o tempo de residência da água no ponto de monitoramento. Os limites dispostos pela resolução para rios de Classe II para corpos d'água lênticos é de 0,030 mg.L⁻¹. Valores mais restritivos são aplicados a ambientes lênticos (com tempo de residência superior a 40 dias), tornando-se mais tolerante em ambientes intermediários ou tributários de ambientes lênticos (TR entre 2 e 40 dias)

4.7.3. Clorofila a

A clorofila é um dos vários pigmentos que estão presentes nos produtores primários aquáticos, sendo a designação de um grupo de pigmentos fotossintéticos presentes nos cloroplastos das plantas, incluindo algas e cianobactérias. Ela é capaz de capturar da radiação solar a energia necessária para a realização da fotossíntese (IAP, 2009).

A clorofila é capaz de ser aplicada para determinar a biomassa do fitoplâncton, pelo fato de fazer parte da sua composição. A ponderação da biomassa do fitoplâncton, em clorofila a, pretende, mediante a análise da estrutura da comunidade, identificar prováveis variações da qualidade das águas. A associação dos dados sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica e sua massa é fundamental em monitoramentos limnológicos (IAP, 2009). Desta maneira, a clorofila a é empregue também para indicar o estado trófico de um corpo hídrico, sendo indispensável em programas de monitoramentos de lagos e reservatórios (IAP, 2009).

Os limites dispostos pela resolução CONAMA 375/05 é de 30 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

4.7.4. Transparência

A transparência medida pelo Disco de Secchi utiliza-se de um disco branco e preto de 20 a 30 cm de diâmetro, criado por Ângelo Secchi em 1886. Para medir o disco de Secchi, é mergulhado por uma corda marcada, observa-se o comprimento em centímetros a metros, à medida que o mesmo vai desaparecendo (IAP, 2009).

Caracterizando-se o regime luminoso, um lago pode ser dividido em dois compartimentos: zona eufótica, que compreende a região da massa de água iluminada com até 1% da luz superficial; zona afótica, que corresponde à região sem luz.

A transparência da água medida pelo Disco de Secchi varia bastante entre os ecossistemas aquáticos e, num mesmo lago, pode variar ao longo do dia, estando na dependência do regime de circulação da massa de água, da natureza geoquímica da bacia e dos regimes das chuvas. Em alguns lagos, pode atingir poucos centímetros de profundidade; em outros, profundidades de vários metros (POMPÊO, 1999 in IAP, 2009).

A diminuição da transparência da água influencia a taxa de fotossíntese realizada pelo fitoplâncton causando a redução de sua biomassa, o que contribui na diminuição das concentrações de oxigênio dissolvido (ESTEVES, 2011).

Esta variável tem relação inversa com a quantidade de matéria orgânica dissolvida e a presença de fitoplâncton, ou seja, se há um alto valor de transparência da água é possível que existam poucos organismos

fitoplânctônicos. Esta relação tem importância para o IET e o IQAR, sendo que maiores valores de transparência indicam melhor estado do ambiente aquático (CARDOSO, 2011).

Como citado anteriormente, a transparência da água é uma variável utilizada tanto para o cálculo do IET, quanto do IQAR. Entretanto, muitas vezes os valores desta variável não são representativos para indicar o estado de trofia e da qualidade da água, já que a transparência pode ser não apenas pela densidade de organismos planctônicos, mas também pela elevada turbidez de material mineral em suspensão (CETESB, 2010).

Para a obtenção desta medida foram observados fatores como: fazer as medições somente com céu claro, do lado sombreado do barco e observação sempre pela visão do mesmo pesquisador para que o resultado não fosse alterado (PEIXOTO, 2015).

4.7.5. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) consiste na medida do total de oxigênio requerido para oxidar quimicamente a matéria orgânica na água, sendo uma estimativa do total de matéria orgânica e materiais redutores presentes na água (IAP, 2009). A DQO é de mais fácil determinação, permitindo uma resposta em menor tempo, trata-se da variável preferida para caracterizar a presença de esgotos domésticos e industriais nos corpos d'água (IAP, 2009).

As concentrações de DQO observadas em águas superficiais variam de 20 mg.L⁻¹ O₂ ou menos, em águas não-poluídas, a mais de 200 mg.L⁻¹ O₂, em águas que recebem efluentes (CHAPMAN; KIMSTACH, 1992 in IAP, 2009).

Um valor alto de DQO aponta uma alta concentração de matéria orgânica e baixa concentração de oxigênio dissolvido, assim sendo, este parâmetro influencia na classificação do IQAR de modo que o aumento de DQO acarretará num aumento do IQAR, indicando corpos hídricos mais degradados (CARDOSO, 2011).

4.7.6. Nitrogênio Inorgânico Total

Nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato são compostos cujas ocorrências na coluna d'água e no sedimento estão diretamente ligadas aos processos de produção e decomposição. Como consequência, sua distribuição vertical nos compartimentos citados pode ainda ocorrer em função do comportamento térmico (p. ex. estratificação e desestratificação) e da dinâmica dos gases, sobretudo, do oxigênio, na mesma (ESTEVES, 2011).

O nitrogênio inorgânico total compreende as formas inorgânicas: nitratos, nitritos e nitrogênio amoniacal. Estes elementos podem ser utilizados como indicadores de qualidade das águas (CARDOSO, 2011).

Assim como o fósforo o nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo aquático, uma vez que participa na produção de proteínas, e pode atuar como fator limitante à produtividade do ecossistema (ESTEVES, 1998; ARRUDA, 2014).

Segundo Arruda (2014), existem ainda as fontes antrópicas de aporte de nitrogênio que variam entre os esgotos sanitários, efluentes industriais e escoamento da água das chuvas em bacias com uso inadequado do solo com usos de fertilizantes nitrogenados.

O nitrogênio calculado nos relatórios do IAT utilizados para este trabalho é realizado a partir da média da profundidade I e profundidade II de três parâmetros distintos, sendo nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal e sua soma é o resultado do nitrogênio inorgânico total.

4.7.6.1. Nitrato

O nitrato é a principal forma de nitrogênio associada à contaminação de ambientes aquáticos pelas atividades agropecuárias. Presente no solo por meio de pesticidas, este nutriente fica propenso ao processo de lixiviação, podendo haver incremento de seus teores nos corpos d'água (EMBRAPA, 2002).

O íon nitrato (NO_3^-) é a forma combinada de nitrogênio mais comum encontrada em águas naturais. O nitrato pode ser bioquimicamente reduzido a nitrito (NO_2^-) pelo processo de desnitrificação, geralmente sobre condições anaeróbias. As fontes naturais de nitrito para os corpos d'água incluem rochas ígneas, drenagem do solo e decomposição de plantas e animais (IAP, 2017).

De acordo com IAP (2005), os nitratos são solúveis em água, e estão presente em quantidades moderadas como agentes naturais do processo de nitrificação.

Do mesmo modo que o fósforo, o nitrato causa o enriquecimento excessivo das águas superficiais, culminando no processo de eutrofização, favorecendo a proliferação de cianobactérias, algas e macrófitas aquáticas. Consequentemente, há redução da transparência da água, interferindo na fotossíntese. Além disso, a própria respiração e os restos de algas e plantas mortas depositadas no fundo do ambiente reduzem a disponibilidade de OD, causando a morte de peixes e outros organismos (EMBRAPA, 2002). Desta forma, verifica-se que altas concentrações deste nutriente também interferem na qualidade da água, indicando que o aumento da concentração de nitrato ocasiona aumento nos valores do IQAR (CARDOSO, 2011).

4.7.6.2. Nitrito

O nitrito identifica uma forma intermediária entre amônia e nitrato e é encontrado em baixas concentrações em ambientes oxigenados. Em ambientes anaeróbios, como o hipolímnio de corpos d'água eutróficos, pode ser encontrado em altas concentrações (ESTEVES, 2011). Estas altas concentrações frequentemente indicam poluição de origens industriais associados a condições microbiológicas insatisfatórias (CHAPMAN & KIMTACH, 1992).

O Nitrito, todavia, é instável e representa uma forma intermediária entre nitrogênio nitrato e nitrogênio amoniacal. Em condições aeróbias o nitrito é rapidamente oxidado para nitrato (IAP, 2017).

4.7.6.3. Nitrogênio amoniacal

O nitrogênio amoniacal representa o produto final da decomposição da matéria orgânica por bactérias heterotróficas (ESTEVES, 2011). Tendo em vista que o teor de matéria orgânica depende da produtividade da água, a taxa de amonificação eleva-se conforme se eleva o grau de trofia do reservatório (IAP, 2009). Altas concentrações deste elemento podem indicar poluição

orgânica, proveniente de esgotos domésticos e industriais, além também de resíduos agrícolas (CHAPMAN & KIMTACH, 1992; CARDOSO, 2011).

Segundo IAP (2017), o nitrogênio amoniacal representa o produto final da decomposição da matéria orgânica por bactérias heterotróficas. Tendo-se em vista o teor de matéria orgânica depende da produtividade da água, a taxa de amonificação eleva-se conforme se eleva o grau de trofia do reservatório.

4.7.7. Fitoplâncton (Cianobactérias)

Institui parcela do grupo inserido em fitoplâncton, os organismos tipicamente conhecidos como cianobactérias que são algas estudadas pela botânica, que há uma alta notoriedade sanitária e de saúde pública. Atualmente, as concentrações de cianobactérias são limitadas pelas legislações ambientais para águas potáveis, designada à recreação e cultivos em razão de algumas cepas produzirem e liberar cianotoxinas que podem ser letais para mamíferos e outros animais de sangue quente (IAP, 2009).

Deste modo, as constantes proliferações de cianobactérias são uma das complicações mais relevantes da eutrofização. Sendo assim, o aumento das mesmas em um corpo hídrico é uma razão de grande importância, possuindo uma classificação maior com base no IQAR (TUNDISI et. al., 2008).

4.7.8. Tempo de Residência

Para Mess (2021), a definição tempo de residência em reservatórios é determinada pelo tempo de percurso que um volume de água chega a um sistema até o instante de sua saída. A relevância de saber o tempo de residência de um reservatório é essencial para entender a oscilação das variáveis da qualidade de água.

Em reservatórios com elevado quociente altura/largura e cujo dispositivo de chegada se encontra no seu fundo, não há uma mistura entre as águas das camadas superiores (maiores idades) e inferiores (menores idades). Nesses casos, o tempo de residência tem significativo efeito sobre a idade média do efluente. Ainda na Resolução CONAMA 357/05 há a distinção para os ambientes lóticos, intermediários e lênticos de fósforo em razão do tempo de residência da água (MEES, 2021).

4.7.9. Profundidade

A profundidade média utilizada pelo IAT é uma regra geral para a profundidade total do corpo hídrico analisado, para o presente estudo eles utilizam 10 metros para a estação 13 e 5 metros para a Estação E-20. E de acordo com esse registro de profundidade média é realizado o cálculo do Índice de Qualidade de Água em Reservatórios

4.8. Índice de Estado Trófico

A eutrofização pode ser algo natural, que é quando há o envelhecimento natural com o recebimento de nutrientes de maneira lenta e continua, na qual provém de chuvas e águas superficiais que lavam a superfície terrestre. E também pode ser algo artificial, na qual há a atuação do homem acelerando o aporte de nutriente que o corpo hídrico recebe, como esgotos domésticos, efluentes industriais e/ou atividades agrícolas (ESTEVES, 2011). As fundamentais características da eutrofização estão associadas com entradas de águas residuárias industriais e domésticas sem o tratamento devido, a drenagem superficial, a contribuição de águas subterrâneas e de fertilizantes usados na agricultura, além da erosão do solo e o excessivo uso de detergentes não biodegradáveis (TUNDISI et. al, 2008).

Segundo Esteves (2011), o termo atributo “eutrófico” é uma transformação de “trófico” unido ao prefixo “eu”, ou seja, “muito”, em objeção ao prefixo “oligo” que quer dizer “pouco”. Comumente, pode-se interpretar “eutrofização” como o aumento da concentração de nutrientes - principalmente fósforo e nitrogênio - em um determinado ecossistema aquático, que tem como resultado o crescimento da produtividade de inúmeros compartimentos e modificações diversas sobre seu desempenho. Como decorrência deste processo, o ecossistema aquático passa da condição de oligotrófico ou mesotrófico para eutrófico ou mesmo hipereutrófico.

De acordo com Esteves (2011), a eutrofização artificial das águas continentais está relacionada com o aumento da população humana, da industrialização, do uso de fertilizantes químicos na agricultura e produtos de limpeza contendo compostos polifosfatados. Todos esses fatores resultam na

liberação de nutrientes, como fosfatos e nitrogênios, que são compostos estimuladores da eutrofização.

Este fenômeno pode reduzir a vida útil do reservatório e das turbinas da usina hidrelétrica, e ainda, compromete os usos múltiplos da água. Desta forma torna-se indispensável o desenvolvimento de um programa adequado de monitoramento da qualidade das águas no rio Paraná, Reservatório de Itaipu e seus afluentes, capazes de diagnosticar a qualidade da água, segundo padrões estabelecidos pela resolução 357/05 do CONAMA para rios de classe 2, principalmente no que tange a preservação da biodiversidade aquática e outros usos mais exigentes (IAP, 2019).

No portal da qualidade das águas (ANA, 2021), descreve que o Índice de Estado Trófico (IET) tem como objetivo:

“Catalogar corpos hídricos em diversos graus de trofia, ou seja, considerar a propriedade da água de acordo com o aumento de nutrientes e a consequência relacionada ao crescimento excessivo de fitoplâncton. Os resultados equivalentes ao fósforo têm a possibilidade de serem entendidos como uma medida de potencial eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador deste processo. A atribuição à clorofila-a, por sua vez, é considerada como uma medida de resposta do corpo d’água ao agente causador, indicando o nível de crescimento do fitoplâncton correspondendo ao enriquecimento de nutrientes.”

De acordo com este índice, os reservatórios podem ser classificados em cinco categorias referentes ao seu grau de trofia (ANA, 2021; CETESB, 2007; LAMPARELLI, 2004):

Ultraoligotrófico: corpos de água limpos, com produtividade muito baixa. Apresenta concentrações insignificantes de nutrientes, não causando prejuízo aos usos da água.

Oligotrófico: corpos de água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água.

Mesotrófico: corpos de água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis na maioria dos casos.

Eutrófico: corpos de água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência. Em geral, são afetados por atividades antrópicas, ocorrendo alterações indesejáveis na qualidade da água e interferências nos seus usos múltiplos.

Hipereutrófico: corpos de água afetados significativamente por elevadas concentrações de nutrientes e matéria orgânica, comprometendo seus usos. Podem apresentar muitas florações de algas e mortandade de peixes.

Os limites estabelecidos por Carlson (1977) utilizados neste trabalho para as diferentes classes de trofia para reservatórios estão descritos na tabela a seguir:

Ultra-Oligotrófico	<20
Oligotrófico	21-40
Mesotrófico	41-50
Eutrófico	51-60
Hipereutrófico	>61

Tabela 4: classificação do Índice de Estado Trófico.

Para realizar o cálculo do Fósforo Total no Índice de Estado Trófico é considerado somente a profundidade I.

Segundo Esteves (2011), a eutrofização é o aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, nos ecossistemas aquáticos, que tem como consequência o aumento de suas produtividades. Tal processo acontece principalmente em lagos e represas, embora possa ocorrer mais raramente em rios, uma vez que as condições ambientais destes são mais desfavoráveis para o crescimento de algas.

São vários os efeitos indesejáveis da eutrofização, entre eles: maus odores e mortandade de peixes, mudanças na biodiversidade aquática, redução na navegação e capacidade de transporte, modificações na qualidade e quantidade de peixes de valor comercial e contaminação da água destinada ao abastecimento público (ANA, 2021).

Os parâmetros utilizados para a realização do Índice de Estado Trófico são clorofila a, fósforo e transparência de Secchi, na qual foram citados nos parâmetros do IQAR acima.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Área de estudo

Na Bacia Hidrográfica do Paraná Parte 3 (a parte da bacia do Paraná que deságua no reservatório), são monitoradas 17 estações localizadas nos principais afluentes. São avaliados mais de 30 parâmetros de qualidade de água em todas as estações, dentre eles variáveis físico-químicas – como pH, oxigênio dissolvido, nutrientes e metais pesados – e biológicas – como fitoplâncton, zooplâncton, macroinvertebrados bentônicos e coliformes.

A bacia hidrográfica do rio Ocoí localiza-se na ecorregião de florestas do Alto Paraná, identificado no Bioma Mata Atlântica e tendo a Floresta Estacional Semidecidual como tipo de vegetação predominante (DI BITETTI, M.S.; PLACCI, G.; e DIETZ, L.A., 2003). Situa-se entre o Parque Nacional do Iguaçu e o Lago da Usina Hidrelétrica de Itaipu, abrangendo os municípios de Medianeira, Matelândia, Missal, São Miguel do Iguaçu, Itaipulândia e Santa Helena (SEGANFREDO, 2015).

Os dados utilizados neste trabalho foram compilados do Banco de Dados de Monitoramento da Qualidade das Águas elaborado pelo Instituto Água e Terra (IAT) com dados da Usina Hidrelétrica de Itaipu. Foram considerados os dados a partir de janeiro de 2010 até março de 2021, em dois pontos de amostragem, sendo estação 13 e estação E-20, localizadas em ambientes lênticos no reservatório do braço do rio Ocoí. As variáveis fósforo, DQO, Nitrato, Nitrito e Nitrogênio amoniacal foram mensuradas em duas profundidades, sendo P1 zona afótica que é a camada mais profunda do corpo hídrico onde a ação direta da luz solar não é tão eminente. E P2 zona eufótica que é a parte do ecossistema aquático que recebe mais radiação solar.

Neste trabalho, foi realizado o cálculo básico de desvio padrão para amostras que segundo Martins (2013), é uma medida de dispersão dos dados relativamente a média, que se obtém tomando a raiz quadrada da variância amostral. É uma medida que só pode assumir valores não negativos, e quanto maior for seu valor, maior será a dispersão dos dados.

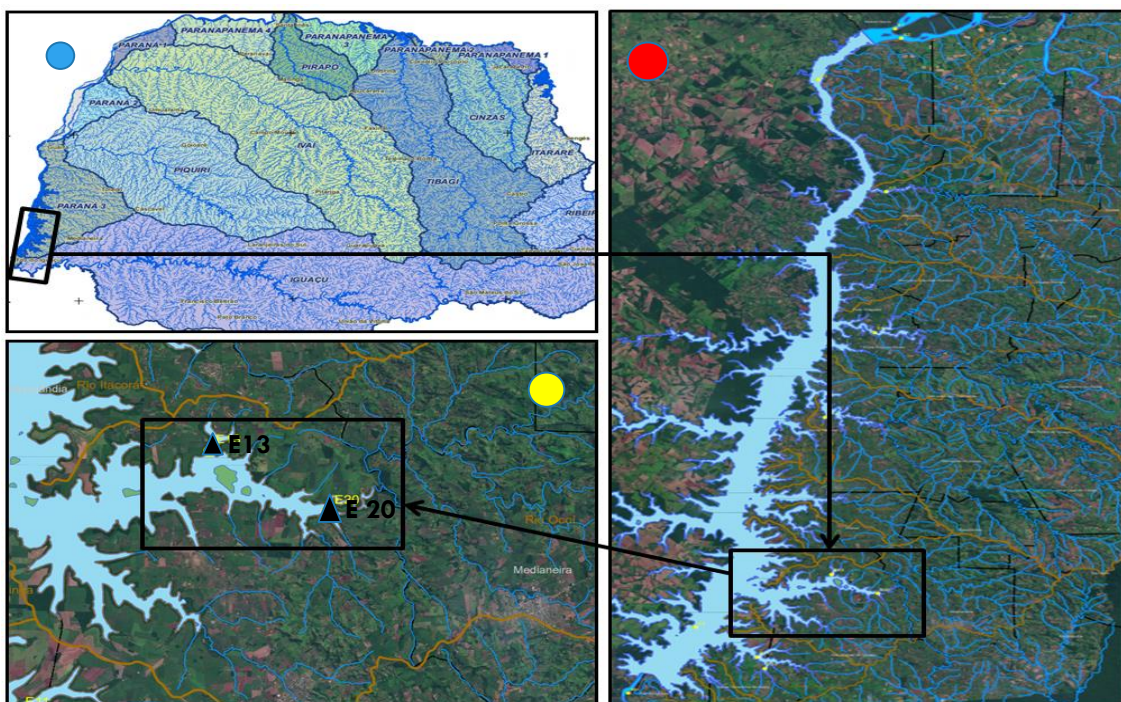


Figura 2: Localização das estações 13 e E-20 do reservatório de Itaipu.

- Bacia do Paraná com destaque no reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu.
- Rio Iguaçu com destaque no Braço do rio Ocoí.
- Braço do rio Ocoí com o destaque das duas estações do estudo (estação 13 e E-20).

5.2. Índice De Qualidade De Água De Reservatório (IQAR)

No portal da qualidade das águas (ANA, 2021) informa que o Índice de Qualidade de Água em Reservatórios (IQAR) foi criado pelo IAT – Instituto água e terra, para analisar a degradação da qualidade da água dos reservatórios.

A classe de qualidade de água a que cada reservatório pertence, é definida através do Índice de Qualidade de Água de Reservatórios (IQAR) calculado de acordo com a Equação 1:

Equação 1:

$$IQAR = \frac{\sum(w_i.q_i)}{\sum w_i}$$

Onde: w_i = pesos calculados para as variáveis "i";

q_i = classe de qualidade de água em relação a variável "i", q pode variar de 1 a 6 (ANA, 2021).

Os dados coletados a cada campanha de monitoramento trimestral foram utilizados para calcular o IQAR parcial. A média aritmética dos índices parciais fornece o IQAR final, a partir do qual, pode-se determinar a classe à qual cada reservatório pertence, de acordo com a resolução CONAMA 357/05. No caso, de reservatórios com mais de uma estação de monitoramento o IQAR é calculado separadamente para cada estação e o reservatório poderá apresentar classes de qualidade de água distintas para cada compartimento monitorado (IAP, 2016). Foi realizado os cálculos de média, mediana e desvio padrão para a observação dos valores presentes nos gráficos.

5.3. Índice De Estado Trófico (IET)

O Índice de Estado Trófico (IET) utilizado neste trabalho segue a mesma metodologia proposta por Carlson (1977) e modificado por Toledo JR. et al. (1983), visando adaptar este índice as condições climáticas de ambientes tropicais, composto pelos cálculos de Índice de Estado Trófico para o Fósforo IET (PT), Índice de Estado Trófico para a Clorofila (CL) e Índice de Estado Trófico para a transparência da água com Disco de Secchi conforme descritos abaixo:

O índice de Estado Trófico para a Clorofila é calculado de acordo com a Equação 2:

Equação 2:

$$IET(Clórofila) = 10 \left[6 - \left(\frac{2,04 - 0,68 * \ln Clórofila}{\ln 2} \right) \right]$$

O índice de Estado Trófico para a Fósforo Total é calculado de acordo com a Equação 3:

Equação 3:

$$IET(PTotal) = 10 \left[6 - \left(\frac{\ln \{80,32 / (Ptotal * 1000)\}}{\ln 2} \right) \right]$$

O *1000 inserido nesta fórmula não está de acordo com o modelo de Carlson (1977) modificado por Toledo et. al. (1983), mas foi necessário pois os dados obtidos neste trabalho eram em mg.L⁻¹ e precisa-se ser convertido µg.L⁻¹.

O índice de Estado Trófico para a Transparência do disco de Secchi é calculado de acordo com a Equação 4:

Equação 4:

$$IET(Seccchi) = 10 \left[6 - \left(\frac{0,64 + \ln Seccchi}{\ln 2} \right) \right]$$

O índice de Estado Trófico médio é calculado de acordo com a Equação 5:

Equação 5:

$$IET(médio) = \frac{IET(secchi) + 2[IET(P.total) + IET(Clorofila)]}{5}$$

O Índice do Estado Trófico objetiva classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, de acordo com o enriquecimento de nutrientes junto ao crescimento de algas e cianobactérias (ANA, 2021).

5.4. Correlação linear

Filho (2021), diz que estudo de correlação tem o objetivo de relacionar duas variáveis, neste trabalho analisa-se a correlação de dois índices sendo o IQAR e IET. Quando os pontos das variáveis são avaliados em um plano cartesiano, ou em gráficos de dispersão e apresentam uma dispersão em uma reta imaginária, define-se como uma correlação linear.

Uma medida do grau e do sinal de correlação linear entre duas variáveis (x,y) é dado pelo coeficiente de Correlação Linear de Pearson, com a seguinte Equação:

Equação 6

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}}$$

Esse tipo de correlação possui um intervalo de valores +1 a -1. Quando há um valor =0 indica que não há correlação entre as variáveis.

Oliveira (2019), explica que quando um coeficiente de correlação se aproxima de 1, observa-se que o valor de uma das variáveis aumenta juntamente com a outra variável, assim define-se uma correlação linear

positiva. Quando o coeficiente se aproxima de -1 também é plausível dizer que as variáveis estão correlacionadas, mas isso ocorre quando o valor de uma variável aumenta e a outra diminui, assim chamando-se correlação negativa ou inversa.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O IAT (2004), estabelece os objetivos do monitoramento de qualidade de água em:

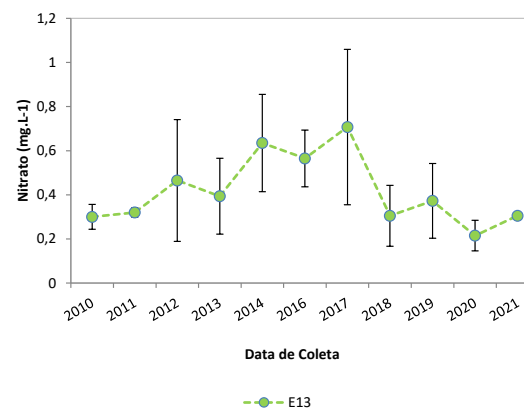
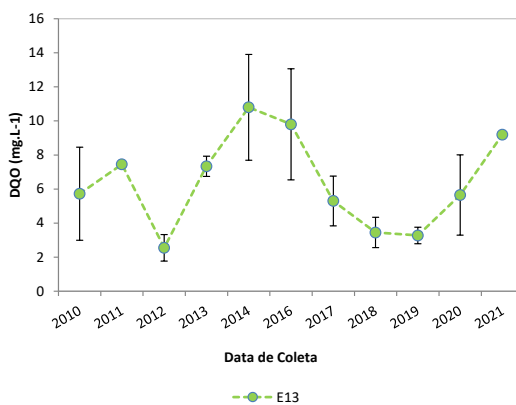
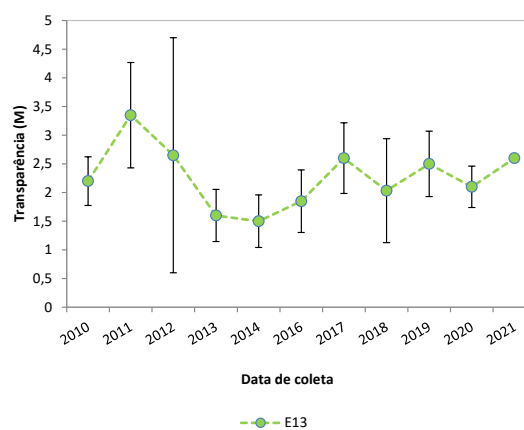
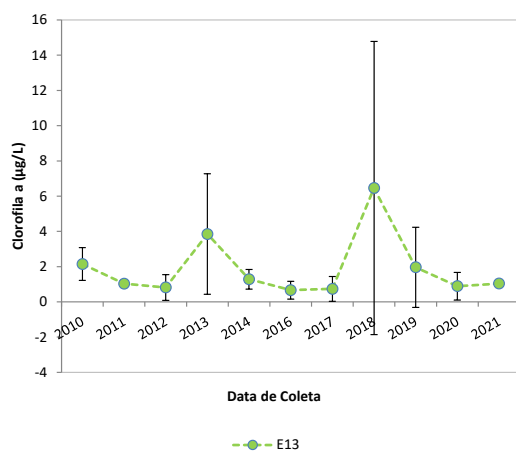
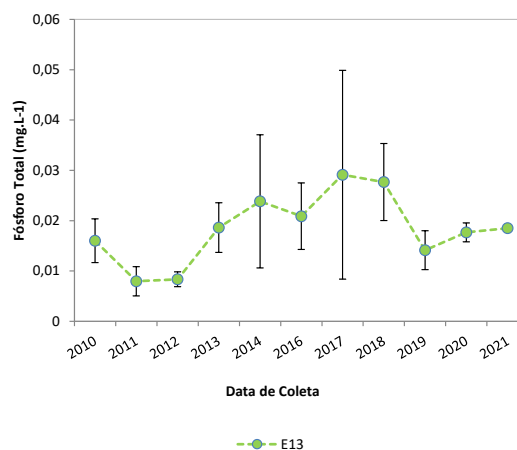
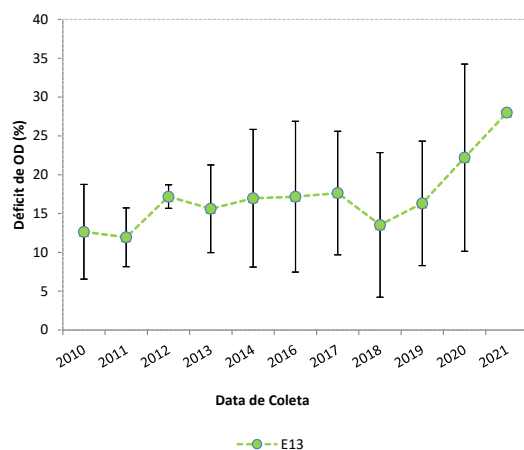
Auxiliar nas ações de gestão, licenciamento e fiscalização de rios e das bacias hidrográficas; Evidenciar o cumprimento ou não da legislação ambiental, detectar modificações ambientais, servir como vigilância ou sistema de alerta dos problemas e avaliar intervenções realizadas; Informar ao Comitê da Bacia e às autoridades, ao público, organizações governamentais, instituições públicas e privadas sobre a condição de qualidade das águas dos trechos de rios monitorados nas sub-bacias; Fornecer ao comitê e ao poder público estadual e municipal, informações relevantes para subsidiar a tomada de decisões na alocação de recursos visando à conservação e recuperação ambiental (IAT, 2004).

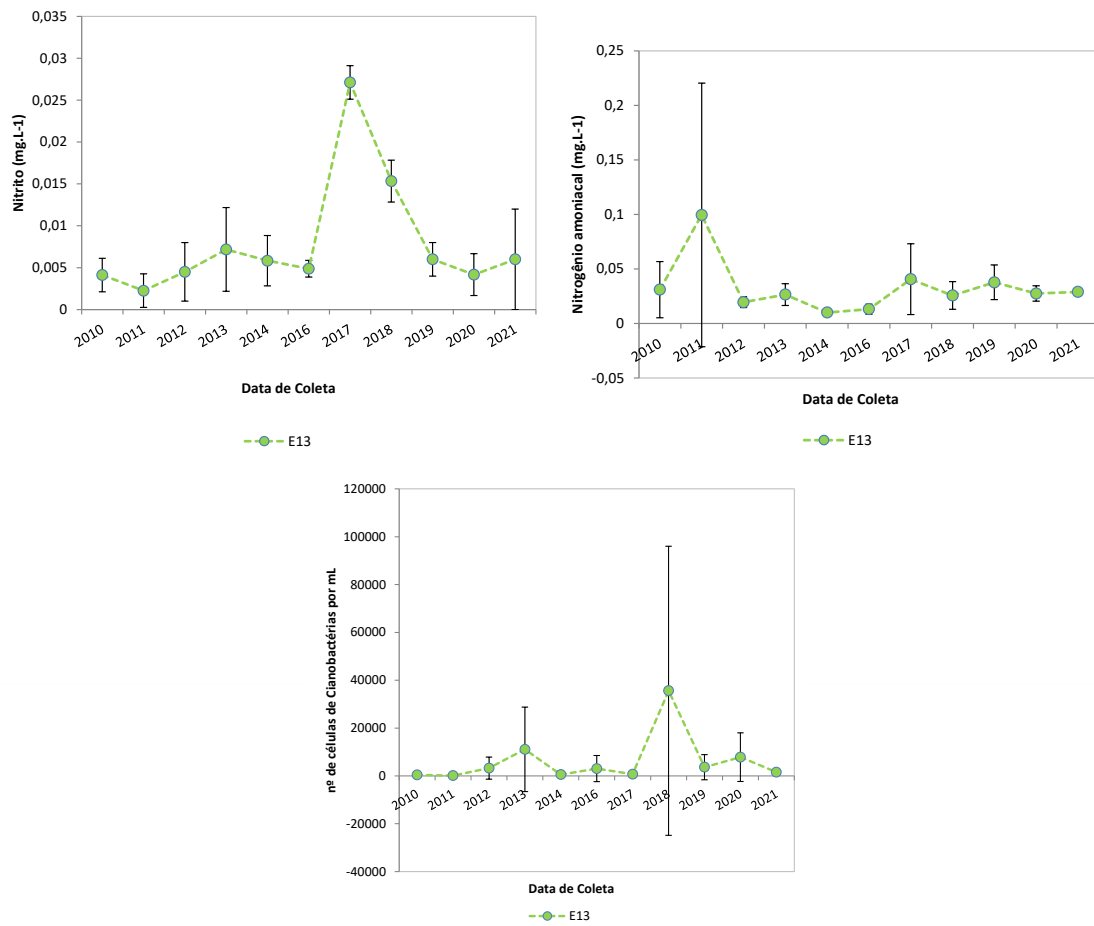
6.1. Resultados Obtidos Do IQAR

Para a obtenção dos resultados apresentados, teve-se que calcular cada parâmetro dos respectivos anos, para então calcular o Índice de Qualidade de Água de Reservatório.

Abaixo estão os gráficos realizados a partir da média obtida de cada parâmetro por ano, levando em conta que foi levantado dados em torno de 3 em 3 meses, podendo ser observada a diferença entre a estação 13 e estação E-20 do braço do rio Ocoí. Também foi calculado o desvio padrão de cada uma das variáveis.

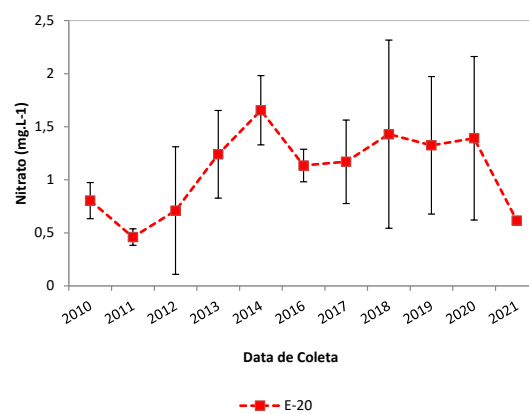
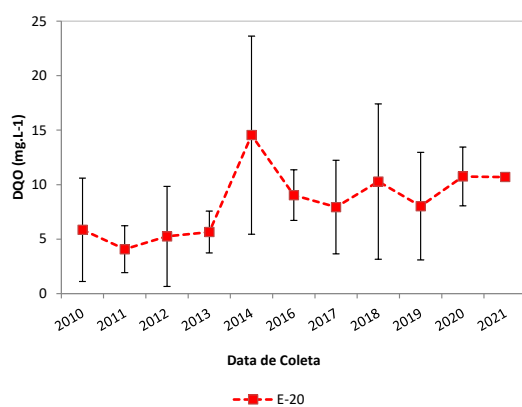
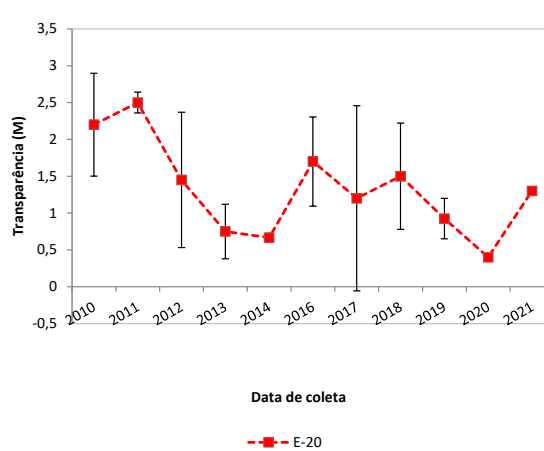
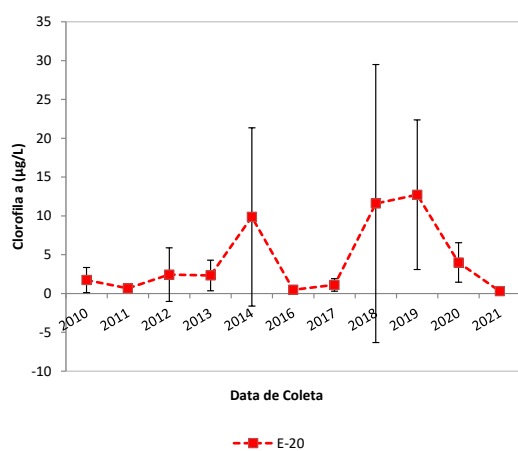
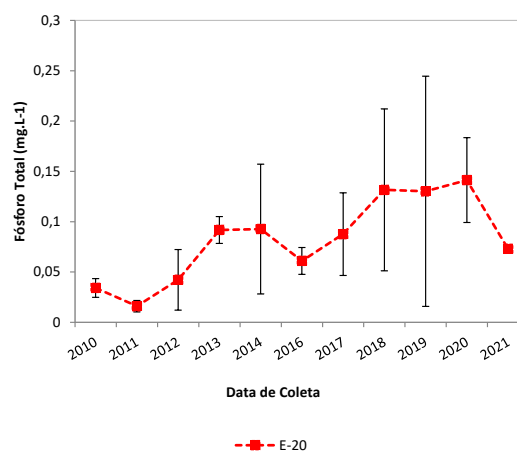
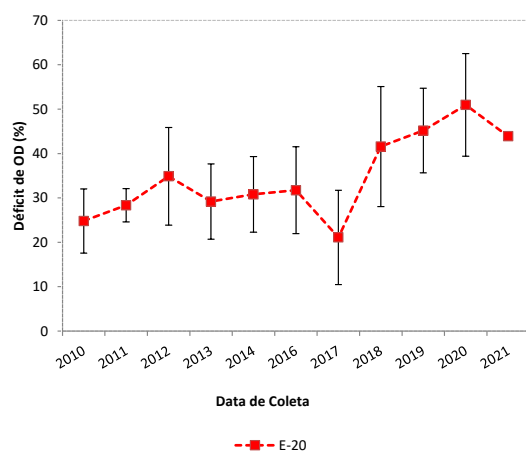
Estação 13

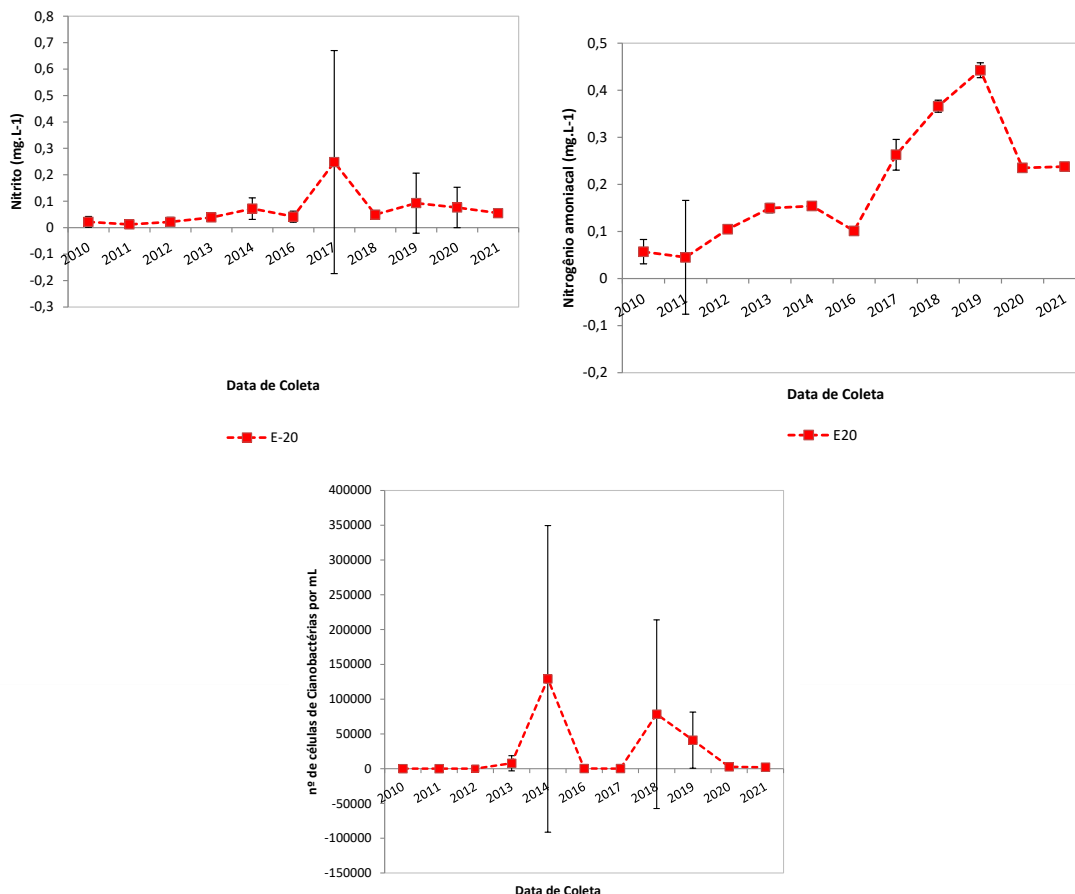




Bloco 1: Gráficos dos resultados do Índice de Qualidade de Água de Reservatório da estação 13 do reservatório do braço do rio Ocoí nos anos 2010 até 2021.

Estação E-20





Bloco 2: Gráficos dos resultados do Índice de Qualidade de Água de Reservatório da estação E-20 do reservatório do braço do rio Ocoí nos anos 2010 até 2021.

6.1.1. Déficit Oxigênio Dissolvido

De acordo com os resultados obtidos, pode-se visualizar nos gráficos que a percentagem de déficit de oxigênio dissolvido na estação E-20 é maior que a da estação 13. Apenas no ano de 2017 se aproximaram, com a média de 17,65% na estação 13 e 21,1% na E-20. Observa-se também que ao longo dos anos o déficit foi aumentando gradativamente sendo no ano de 2010 a 13 havia a média de 12,6% e no ano de 2021 foi para 28%. Já na E-20, em 2010 havia 20,7% e o último relatório apresentado no ano de 2021 com 43,9%.

O déficit de oxigênio dissolvido é baseado na saturação de oxigênio dissolvido. A média apresentada ao longo dos anos mostra que a saturação da estação 13 é menor se comparada com a estação E-20, isso se deve a grande carga de nutrientes que chega à E-20 provenientes da região lótica próxima a ela. A autodepuração não é suficiente já que a parte lântica do rio que recebe

as cargas de nutrientes provindas das regiões agrícolas, indústrias e cidades é frequente e sua profundidade estudada de 5 metros (metade da estudada em estação 13) também auxilia na determinação dos números, tendo o maior número no ano de 2020 com o déficit de oxigênio dissolvido chegando a 50%, o que dificulta a presença de organismos aeróbios.

6.1.2. Fósforo

Com os resultados obtidos, pode-se visualizar um acréscimo de fósforo total ao longo dos anos na estação E-20, atingindo o máximo de $0,14 \text{ mg.L}^{-1}$ no ano de 2020 e contido moderadamente no ano de 2021 com $0,073 \text{ mg.L}^{-1}$. Na estação 13 obteve-se um controle ameno na quantidade de fósforo total, com a máxima $0,029 \text{ mg.L}^{-1}$ no ano de 2017.

O fósforo total é um indicador do excesso de fósforo nas águas, o fósforo se anexa aos sedimentos sendo, portanto, associada também a poluição dos sedimentos. O fósforo é um nutriente essencial para plantas e animais, porém em grandes quantidades nas águas causam proliferações desenfreada de algas (ECOREPORTCARD,2021).

Os resultados obtidos aborda, e levando em conta que a resolução CONAMA 357/05 limita a quantidade de fósforo total para rios de classe 2 ($0,03 \text{ mg.L}^{-1}$) em ambientes lênticos, observa-se que na estação E-20 ocorre a proliferação de algas pelas altas concentrações observadas nos anos de 2012 até 2021.

Na estação 13 destaca-se por não ultrapassar o limite proposto pelo CONAMA 357/05 nos 10 anos estudados, com isso, leva-se em consideração que a estação E-20 possui maior degradação quando comparada à estação 13, pela grande quantidade de cargas de nutrientes que recebe da bacia hidrográfica que deságua nesta porção do reservatório, e também pela sua menor profundidade.

6.1.3. Clorofila a

No período estudado obteve-se uma oscilação nas concentrações de clorofila a na estação E-20, atingindo um máximo de $12,72 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ em 2019 e mínima de $0,3 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ no mês de março de 2021. Já a estação 13 as oscilações

foram intermediárias tendo um grande valor no ano de 2018 com $6,46 \mu\text{g.L}^{-1}$ e um menor valor de $0,74 \mu\text{g.L}^{-1}$ no ano de 2017.

Segundo CONAMA 357/05, sobre as condições e padrões de qualidade das águas, são estabelecidos limites individuais para cada substância em cada classe. Para a classe 2 de águas doces, o parâmetro de clorofila a deve obedecer ao valor máximo de até $30 \mu\text{g.L}^{-1}$.

De acordo com as médias anuais obtidas, nenhuma das estações ultrapassaram o limite proposto pela resolução 357/05. Sobretudo, observa-se que nos anos de 2014, 2018 e 2019 da estação E-20 houve um grande acréscimo, este fato hipoteticamente deve ser ocorrido pelo tempo curto de autodepuração. O mesmo ocorre com a estação 13, mas em menores escalas nos anos de 2013 e 2018.

6.1.4. Transparência

Os dados obtidos mostram que para a transparência a partir do disco de Secchi houve uma oscilação das duas estações e é evidente que na estação 13 há uma transparência maior do que da estação E-20, alcançando até 3,35 metros no ano de 2011, e no mesmo ano foi a máxima da estação E-20 também com 2,5 metros.

Nos resultados obtidos em média de metros anual, pode-se observar que a estação 13 possui maior transparência, essa deve-se ao fato de sua profundidade utilizada no estudo ser maior quando comparada com a E-20. Contudo, nos anos de 2010 e 2016 ambos obtiveram quase os mesmos números.

6.1.5. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Nos resultados obtidos da Demanda Química de Oxigênio neste trabalho, observa-se que houve uma grande oscilação em ambas as estações com um decréscimo visível na estação E-20 com $14,55 \text{ mg.L}^{-1}$ em 2014 e $10,7 \text{ mg.L}^{-1}$ em 2021. Já na estação 13 obtém uma baixa nos anos de 2012 e depois nos anos de 2018/2019 com máxima de $10,8 \text{ mg.L}^{-1}$ em 2014 e mínima de $2,55 \text{ mg.L}^{-1}$ em 2012.

Segundo Aquino et. al (2006), a Demanda Química de Oxigênio é um parâmetro global utilizado como indicador do conteúdo orgânico de águas residuárias e superficiais, e bastante utilizada no monitoramento de estações de tratamento de efluentes líquidos. Embora a resolução CONAMA 357/05 não faça referência ao parâmetro DQO na classificação dos corpos d'água e nos padrões de lançamento de efluentes líquidos, algumas legislações ambientais estaduais estabelecem limites máximos para os padrões de lançamentos.

A DQO mede, imediatamente, os equivalentes redutores (elemento com baixo número de oxidação, ou seja, reduzidos) presentes na amostra em questão.

Nos dados obtidos, pode-se observar que as duas estações alcançaram um aumento na DQO ao longo dos 10 anos estudados, com exceção dos anos de 2012, 2018 e 2019 da estação 13, que se percebe uma queda na DQO. Isso mostra que a carga de nutrientes lançada do ambiente lótico para o lântico está aumentando ao longo dos anos.

6.1.6. Nitrogênio Inorgânico Total

6.1.6.1. Nitrato

A partir dos dados obtidos neste trabalho e a realização dos gráficos pode-se observar que houve um controle nos números em mg.L^{-1} na estação 13 com $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ em 2010 e $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ em 2021. Já para estação E-20 obteve-se uma grande oscilação com máxima de $1,65 \text{ mg.L}^{-1}$ em 2014 e $0,46 \text{ mg.L}^{-1}$ em 2011.

O nitrato é a principal forma de nitrogênio associada a contaminação da água pelas atividades agropecuárias. Na solução do solo, o nitrato fica muito propenso ao processo de lixiviação e ao longo do tempo, pode haver considerável incremento nos teores presentes nas águas profundas (EMBRAPA, 2002).

Conforme o texto acima, os resultados obtidos a partir dos dados e levando e considerando os limites propostos pela resolução CONAMA 357/05 ($10,0 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$), pode-se observar que a média anual das duas estações dos 10 anos estudados não ultrapassam o limite proposto pela legislação, o que certamente pode ser que os agrotóxicos utilizados próximos a região da parte

lótica não é tão prejudicial (usada de maneira controlada, ou não chega aos corpos d'água). Sobretudo, ainda deve-se tomar cuidado com a quantidade de nutrientes que a parte lântica recebe, essencialmente a estação E-20, que possui maiores valores quando comparada com a 13.

6.1.6.2. Nitrito

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho observa-se valores de baixas concentrações de nitrito, com exceção do ano de 2017 na estação E-20 com 0,24 mg.L⁻¹. Também verifica-se uma pequena alteração no ano de 2017 na estação 13 com concentração de 0,02 mg.L⁻¹.

Conforme a resolução CONAMA 357/05, o limite proposto para águas doces de classe 1 e 2 é de 1,0 mg.L⁻¹ N, e com os resultados obtidos pode-se observar que a média anual de ambas as estações não ultrapassam a legislação.

6.1.6.3. Nitrogênio Amoniacal

Os resultados de nitrogênio amoniacal observados neste trabalho demonstram aumento nas concentrações do mesmo na estação E-20, essencialmente no ano de 2019 com o máximo de 0,44 mg.L⁻¹ e a mínima de 0,045 mg.L⁻¹ em 2011 sendo o único valor abaixo da estação 13. Na 13 obteve-se um controle nos números de nitrogênio amoniacal com o máximo no ano de 2011, tendo 0,09 mg.L⁻¹ e mínima de 0,01 mg.L⁻¹ em 2014.

Para Zanelli (2018), é comum referir-se à concentração de nitrogênio amoniacal total, que corresponde a soma dos teores de nitrogênio amoniacal na forma não ionizada (N-NH₃) e ionizada (N-NH₄⁺). Ambas as formas são tóxicas para a vida aquática, especialmente a forma não ionizada. O nitrogênio amoniacal será oxidado nos corpos receptores por bactérias nitrificantes, o que pode causar significativo déficit de oxigênio dissolvido, com consequências prejudiciais aos ecossistemas aquáticos.

O nitrogênio amoniacal, portanto, tem efeitos ambientais nocivos ao promover o crescimento abundantes de algas e plantas aquáticas, causar déficit de oxigênio dissolvido nos cursos receptores e apresentar toxicidade às formas de vida aquática.

Na resolução CONAMA 357/05, aborda os limites de nitrogênio amoniacal para águas doces de classe 2, de acordo com o pH sendo: 3,7 mg.L⁻¹ N para pH ≤ 7,5; 2,0 mg.L⁻¹ N para 7,5 < pH ≤ 8,0; 10 mg.L⁻¹ para 8,0 < pH ≤ 8,5 e 0,5 mg.L⁻¹ N, para pH > 8,5. Nos resultados obtidos, pode-se observar que nenhuma média anual dos anos apresentados ultrapassou os limites da resolução.

6.1.6. Fitoplâncton (Cianobactérias)

De acordo com os resultados obtidos através dos dados estudados pode-se observar que no ano de 2014 houve um “bloom” de cianobactérias com 129138,7 n° de células por ml na estação E-20 e novamente no ano de 2018 com 78351,67 n° de cel./mL. Na estação 13 os números são menores com florações no ano de 2013 totalizando 11100,25 n° de cel./mL, e um pequeno “bloom” no ano de 2018 com 35616,67 n° de cel./mL.

Segundo Merel (2014), a elevada quantidade de nutrientes na água, juntamente com a exposição à luz e a temperaturas elevadas, favorece a multiplicação excessiva das cianobactérias, um fenômeno chamado de floração, caracterizado pelo acúmulo de células que formam uma camada verde na superfície da água.

Conforme a resolução CONAMA 357/05, para águas doces de classe 2 o limite proposto foi de 50.000 cel./mL ou 5 mm³/L. E pela média de dados anual pode-se observar que somente a E-20 possivelmente ultrapassa esse limite em dois anos, sendo 2014 e 2018. Portanto, o limite foi respeitado pela estação 13 durante os 10 anos estudados. Isso deve-se a grande carga de nutrientes que o ambiente E-20 recebe de sua parte anterior (lótica), e seu curto tempo de autodepuração.

6.1.8. Tempo de Residência

O tempo de residência ministrado pelo IAT em todos os relatórios levantados para este trabalho de janeiro/2010 até março/2021 foi de 365 dias (1 ano) para as duas estações estudadas.

6.1.9. Profundidade

A profundidade registrada nos estudos foi de 5 metros para a estação E-20 e 10 metros para a estação 13.

6.2. Resultado do Índice de Qualidade de Água de Reservatório IQAR

No Gráfico abaixo conseguimos ver os resultados do IQAR da estação 13 e E-20 de acordo com as classes na qual foram classificadas.

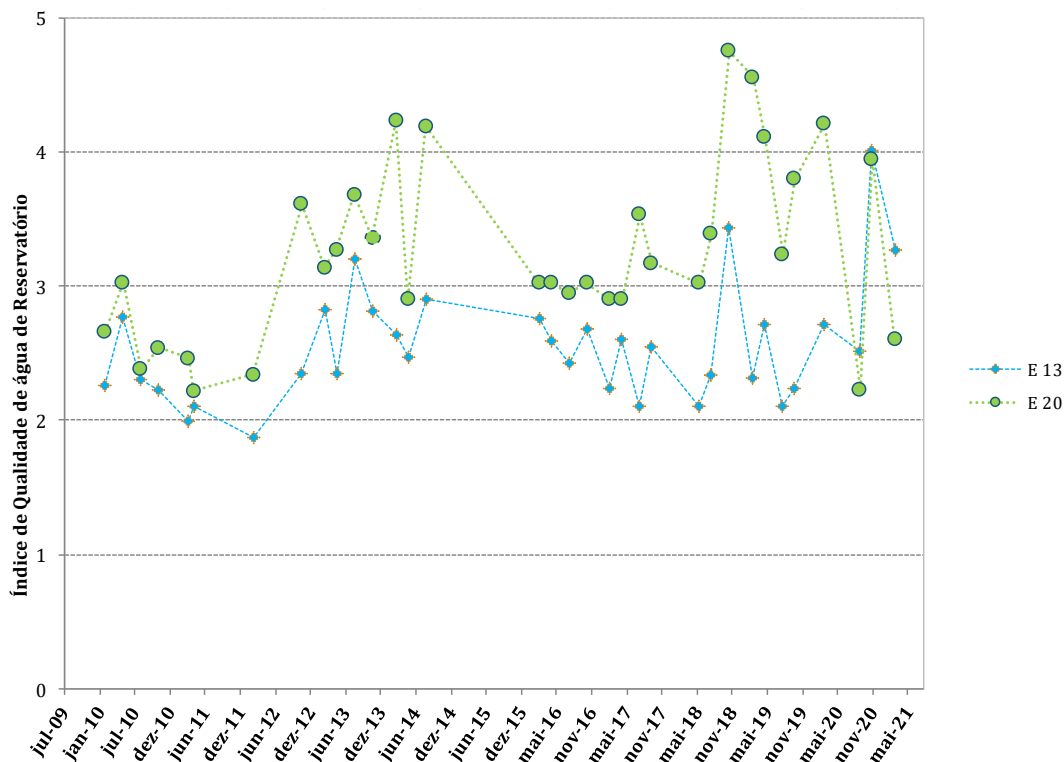


Gráfico 1: Resultado da classificação de classes do Índice de Qualidade de Água de Reservatório da estação 13 e E-20 localizadas no reservatório do braço do rio Ocoí.

De acordo com as classificações abordadas pelo IAT, pode-se observar nitidamente que a estação E-20 tem dados de maior degradação do que a estação 13. Se enquadrando na classe III sendo Moderadamente Degradado: “Corpos de água que apresentam um déficit considerável de oxigênio dissolvido na coluna de água, podendo ocorrer anóxia na camada de água próxima ao fundo, em determinados períodos. Médio aporte de nutrientes e matéria orgânica, grande variedade e/ou densidade de algas, sendo que algumas espécies podem ser predominantes, tendência moderada a eutrofização, tempo de residência das águas, considerável”. Qualidade de água regular/aceitável;

A estação 13 se inclui na classe II com pouco Degradado: Corpos de água com pequeno aporte de matéria orgânica e de nutrientes orgânicos e inorgânicos, pequena depleção de oxigênio dissolvido, transparência das águas relativamente alta, baixa densidade de algas, normalmente com pequeno tempo de residência das águas e/ou grande profundidade média. Qualidade de água muito boa/boa;

A média encontrada a partir dos cálculos do Índice de Qualidade de Água de Reservatório é de 2,55 que indicaria classe III (Moderadamente Degradado) para estação 13, porém sua predominância de acordo com os pontos do gráfico indica Classe II (Pouco Degradado).

Na estação E-20 a médias dos cálculos do IQAR é de 3,24 o que indica Classe III (Moderadamente degradado) no qual confirma a predominância dos pontos no gráfico.

Os resultados de forma individual são os seguintes:

Classe I – não há nenhum mês com a qualificação não impactado muito pouco degradado na estação 13 e estação E-20 durante os anos de 2010 a março de 2021.

Classe II – na qualificação “pouco degradada” na estação 13 encaixam-se os meses de fevereiro, agosto e novembro de 2010; abril e maio de 2011; março e novembro de 2012; maio de 2013; maio de 2014; agosto de 2016; março e agosto de 2017; junho, agosto e novembro de 2018; março, agosto e outubro de 2019; Da estação E-20 os meses de agosto de 2010; abril e maio de 2011; e março de 2012.

Classe III – moderadamente degradado na estação 13 estão os meses de maio de 2010; março, agosto e novembro de 2013; março e agosto de 2014; março, maio e novembro de 2016; maio e outubro de 2017; mais de 2019; março e setembro de 2020; e março de 2021; Na estação E-20 há os meses de fevereiro, maio e novembro de 2010; março, maio e novembro de 2013; maio de 2014; março, maio, agosto e novembro de 2016; maio e outubro de 2017; junho e agosto de 2018; agosto de 2019; novembro de 2020; e março de 2021.

Classe IV – qualificação criticamente degradado a poluído, na estação 13 há somente o mês de novembro de 2020; Já na estação E-20 foram os meses de novembro de 2012; agosto de 2013; março e agosto de 2014; agosto de 2017; maio e outubro de 2019; março e novembro de 2020.

Classe V – qualificação muito poluído, tem-se o mês de novembro de 2018 e maio de 2019 somente da estação E-20, sem nenhum mês da estação 13.

Classe VI – qualificação extremamente poluído não há meses nesta classe, nestas estações, durante o período estudado.

6.3. Resultados obtidos a partir do IET

Os gráficos mostram os resultados dos cálculos anteriores necessários para a realização do cálculo final do IET médio. Portanto, os referidos resultados não possuem unidades de medida. Foram realizados a partir dos dados disponibilizados pela Itaipu Binacional os cálculos do IET de clorofila a, IET de fósforo total e IET de Transparência de Secchi. Considerando que fósforo total para IET é utilizada somente a profundidade I diferente do IQAR que é a média da P1 com a P2.

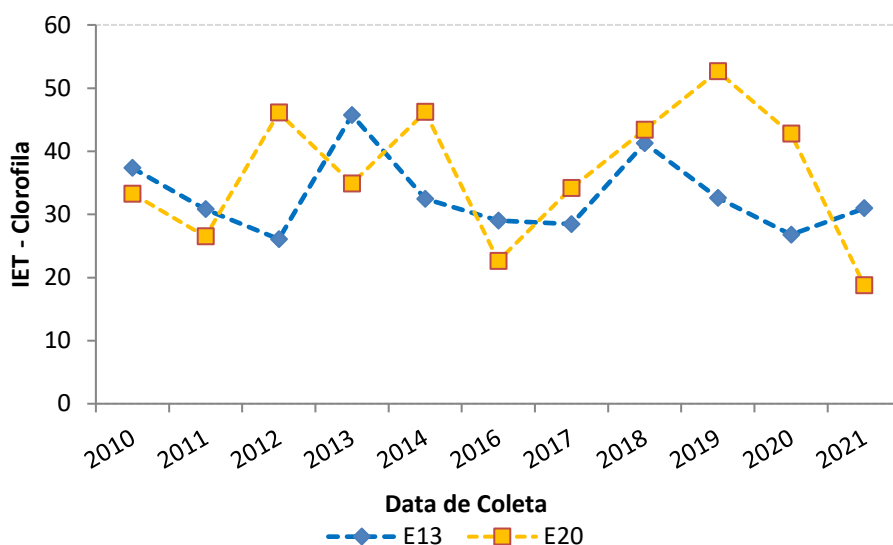


Gráfico 2: Média de IET de clorofila a da estação 13 e E-20 localizadas no reservatório no braço do rio Ocoí no período de janeiro/2010 à março/2021.

Observa-se nos resultados que há uma grande oscilação nas concentrações de Clorofila a nas duas estações com máxima de 52,66 em 2020 e mínima de 18,76 no ano de 2021 na estação E-20. Na estação 13 nota-se a máxima no ano de 2013 com 43,73 e mínima de 26,06 em 2012.

A avaliação correspondente à clorofila a por meio do IET indica o nível de crescimento das algas num corpo d'água. É considerada a principal variável

indicadora do estado trófico de ambiente aquático, sendo de grande importância para o cálculo do IET (CETESB, 2010).

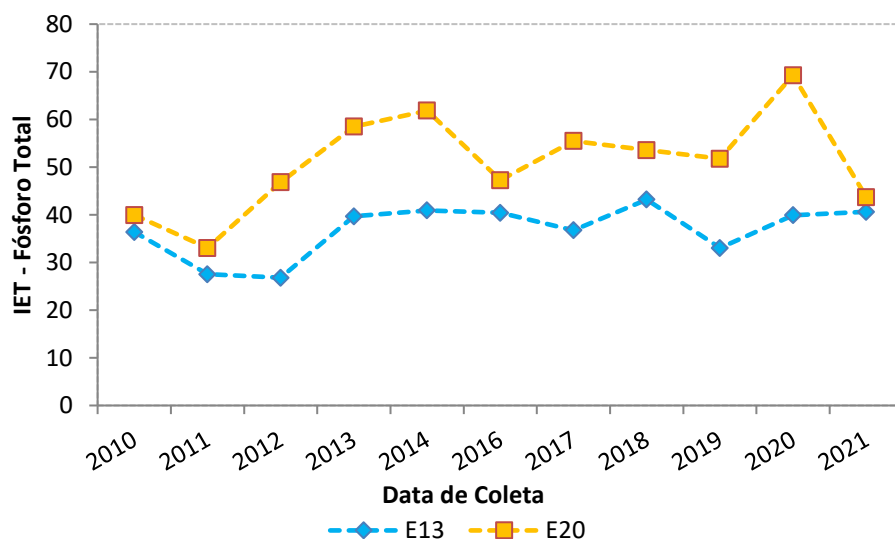


Gráfico 3: Média de IET de Fósforo Total da estação 13 E-20 localizadas no reservatório do braço do rio Ocoí de janeiro/2010 à março/2021.

A partir dos dados obtidos nota-se que não há muita alteração nos valores de Fósforo Total ao longo os 10 anos estudados. A estação 13 obteve uma máxima de 43,21 e mínima de 26,80 no ano de 2012. Na estação E-20 a máxima foi de 69,31 em 2020 e mínima de 33,06 em 2011. Tendo claramente que a E-20 possui maiores valores do que a estação 13 para Fósforo Total.

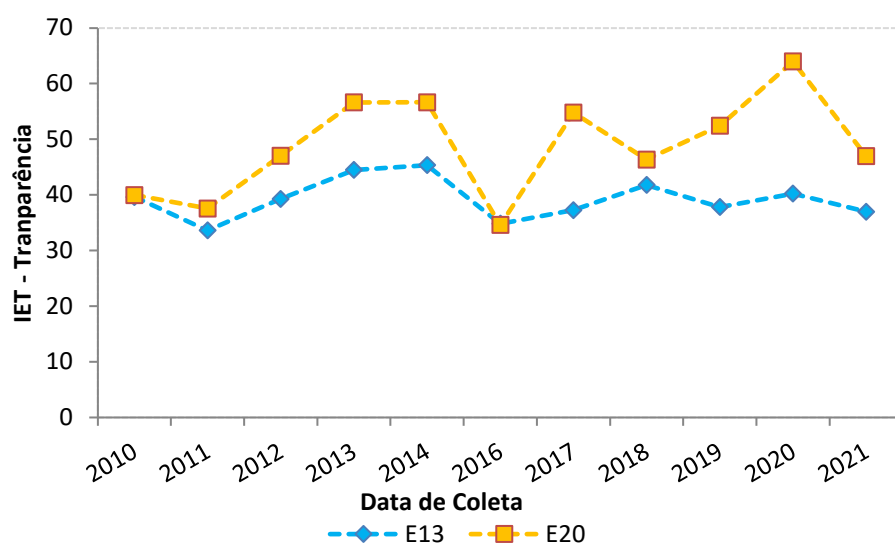


Gráfico 4: Média de IET da transparência do disco de Secchi da estação 13 e E-20 localizadas no reservatório do braço do rio Ocoí no período de janeiro/2010 à março/2021.

De acordo com os resultados obtidos observa-se que na estação 13 supostamente não houve muita oscilação nos valores ao longo dos 10 anos estudados com máxima de 45,35 em 2014 e mínima de 33,60 em 2011. Já na E-20 nota-se uma grande oscilação tendo uma grande diferença entre sua máxima com 63,99 em 2020 e mínima de 37,56 em 2012.

6.4. Resultado do Índice de Estado Trófico

Na Gráfico 5 são apresentados os resultados das classificações do índice de Estado Trófico da estação 13 e E-20 localizadas no reservatório do Braço do rio Ocoí no período de janeiro/2010 à março/2021.

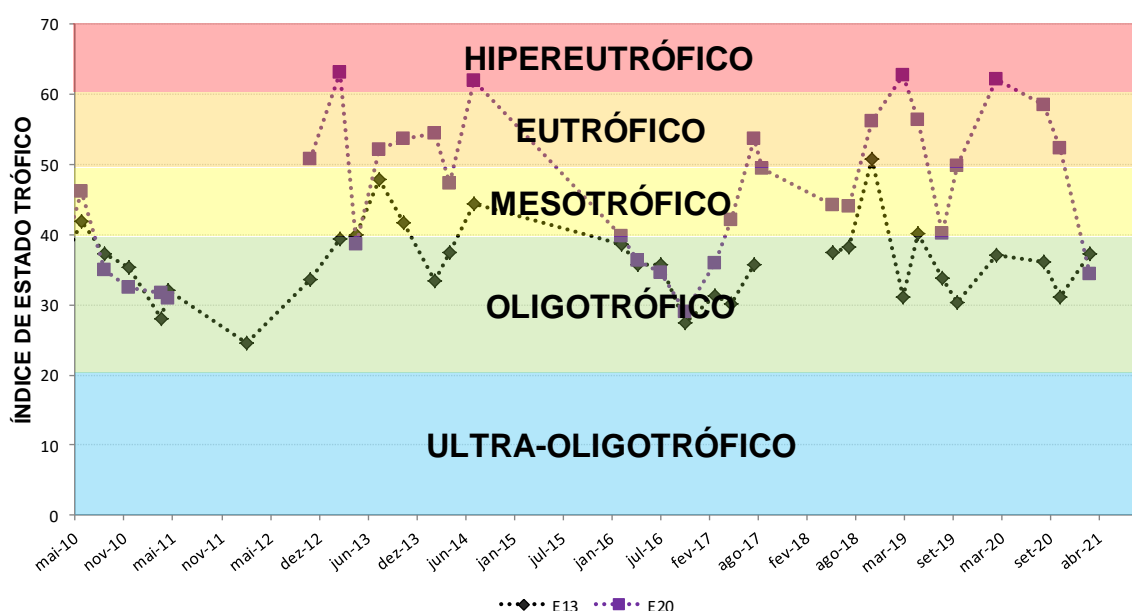


Gráfico 5: Classificação do Índice de Estado Trófico da estação 13 e E-20 no período de janeiro/2010 à março/2021.

As classificações do IET da estação 13 durante o período estudado foram de 28 dados sendo oligotróficos; com maio de 2010; agosto e novembro de 2013; agosto de 2014; e novembro de 2018 se encaixa no estado mesotrófico.

Já na estação E-20 houve uma grande variação nas classificações, sendo: março, agosto e novembro de 2010; abril e maio de 2011; maio de 2013; março maio, agosto e novembro de 2016; março de 2017; agosto de 2019; e março de 2021 são oligotróficos;

Maio de 2010; novembro de 2012; maio de 2014; maio e setembro de 2017; junho e agosto de 2018 e outubro de 2019 são mesotróficos;

Agosto e novembro de 2013; março de 2014; agosto de 2017; novembro de 2018; maio de 2019; setembro e novembro de 2020 são eutróficos;

Março de 2013; agosto de 2014; março de 2019 e março de 2020 foram classificados como hipereutróficos;

No ano de 2015 não houve coleta de dados por problemas no convênio da Itaipu com o governo do Estado. Mostrando então que a estação E-20 é consideravelmente mais eutrófica do que a Estação 13.

A predominância observada na estação 13 é oligotrófica o que confirma com a média dos cálculos de IET para os 10 anos estudados que foi de 36,06 o que indica corpos de água limpos, de baixa produtividade, em que provavelmente não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, isto porque, próximo a ela, há uma pequena praia artificial denominada de Prainha Jacutinga de Itaipulândia, um pequeno distrito margeando uma parte do braço, porém pouco desenvolvida e sem indústrias no local. Ao redor da estação há uma quantidade relativa de mata ciliar, o que torna as águas mais protegidas das ações antrópicas.

Já para a estação E-20 há uma oscilação na classificação, obtendo quatro resultados como hipereutróficos, isso deve-se ao fato de estar mais próxima do Balneário Ipiranga, que é consideravelmente maior que Itaipulândia, pela estrutura presente no local observa-se uma grande demanda de pontos para turistas como chalés e quiosques. Há uma faixa relativa de mata ciliar ao entorno do lago da estação, porém, próximo ao local, possui uma região de falha na permanência de vegetação tornando as águas susceptíveis a receber cargas de nutrientes provenientes da região agrícola que é uma predominância da região em ambas as estações. A média obtida a partir dos cálculos de IET foi de 45,91 o que aborda um valor mesotrófico.

6.5. Correlação de IQAR e IET

Na Gráfico 6 é apresentado o resultado de correlação do Índice de Estado Trófico da estação 13 e E-20 localizadas no reservatório do Braço do rio Ocoí no período de janeiro/2010 à março/2021.

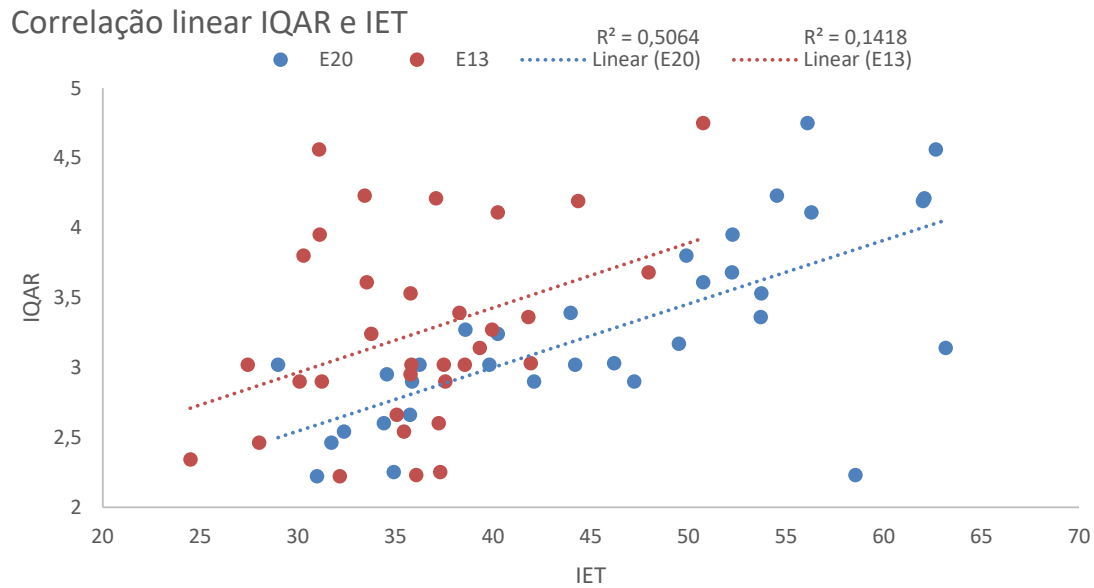


Gráfico 6: Correlação linear para IQAR e IET das estações 13 e E-20, no período de jan/2010 a mar/2021.

A correlação possivelmente não indica alto grau de poluição, indica que existe uma correlação entre o comportamento das variáveis, entretanto, devido ao baixo valor do coeficiente R esse método não pode ser utilizado para estimar o comportamento desses pontos, e isso significa que nem sempre os mesmos podem ter esta correlação.

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho, pode-se observar que a estação E-20 possui um Índice de Qualidade de Água de Reservatório de menor qualificação em comparação com a estação 13.

Igualmente para o Índice de Estado Trófico, onde a estação E-20 possui meses consideravelmente mais eutrofizados do que a estação 13.

Um dos fatores que influenciam nestes resultados é a profundidade, sendo que a profundidade sendo 10 metros na estação 13 e 5 metros na estação E-20.

Outro fator é que a parte lótica localizada a montante a estação E-20 tem uma grande distância, passando por muitas áreas urbanas e agrícolas, que faz com que as águas que passam por estes locais sejam mais alteradas por poluição urbana, agrotóxicos, produtos decorrentes de agropecuária e efluentes domésticos. A estação E-20 sendo a primeira porção da parte lântica, recebe todos esses nutrientes que serão distribuídos ao longo do trecho. A estação 13 se encontra em uma porção do braço em que não há uma extensão lótica a sua montante, tão extensa quanto da E-20. A autodepuração que é o tempo que a capacidade das águas de restaurar suas características ambientais naturalmente, devido à decomposição de poluentes é menor na E-20 do que a 13. Por estas razões, a estação E-20 é mais degradada que a estação

13.

REFERÊNCIAS

AMORIM, E.L.C. **Monitoramento Ambiental**. 20--. Universidade Federal de Alagoas – UFAL Unidade Acadêmica Centro de Tecnologia – CTEC. Disponível em: <http://www.ctec.ufal.br>. Acesso em 17 mai. 2021.(slide)

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 20--. **Indicadores de qualidade - índice do estado trófico (IET)**. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx>. Acesso em: 12 maio 2021.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Resolução Conjunta ANA/ANNEL nº 3/2010**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/monitoramento-hidrologico/resolucao-conjunta>. Acesso em: 10 maio 2021.

ANDRÉ, A.da S.; ANDREOLA, R.; COSTA, A. R. da; FERRARI, A.; ROCHA, L. C. . **Estudo de um índice de qualidade da água: uma proposição para a resolução conjunta ANA/ANEEL N° 03/2010**. Revista Valore: Volta Redonda, Maringa - Pr, p. 133-150, 2019.
https://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/ResolucaoConjunta_n_003-2010.pdf.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; ANA – Agência Nacional das Águas. **Resolução conjunta nº 3, de 10 de agosto de 2010**, Brasília, DF. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/ResolucaoConjunta_n_003-2010.pdf. Acesso em: 12 mai. 2021.

ARRUDA, N.M.B. de. **Avaliação de variáveis de qualidade de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas de Foz do Areia, Segredo e Caxias, como instrumento de gestão de bacias hidrográficas**. 227f.Tese (Doutorado)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/35746/R%20-%20T%20>

%20NICOLE%20MACHUCA%20BRASSAC%20DE%20ARRUDA.pdf?sequenc
e=1&isAllowed=y. Acesso em: 13 mai. 2021.

BEN - **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**, 2020. In: Empresa de pesquisa energética. **Matriz Energética Elétrica**, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 18 ago. 2021.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011**. Publicada no DOU nº 92, de 16/05/2011, pág 89. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 17 mai. 2021.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005,** págs. 58-63. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 12 mai. 2021.

CARDOSO, E.T.S. **Avaliação do grau de trofia e da qualidade da água de um braço do reservatório de Itaipu** – Brasil. Dissertação de mestrado em Energia. Universidade Federal do ABC. Santo André, 2011.

CARLSON, R. E. 1977. **A trophic state index for lakes**. Limnol. Oceanogr., 22: 361-369. Disponível em: <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.4319/lo.1977.22.2.0361>. Acesso em: 08 jun. 2021.

CARLSON, R. E. 1984. **The trophic state concept: a lake management. Lake and Reservoir mangement.** 1:1, 427-430. DOI10.1080/07438148409354550. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/07438148409354550>. Acesso em: 08 jun. 2021.

CARVALHO, G.A. de. **Estudo temporal da estratificação no reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu e suas influências nos drenos de fundação da barragem de concreto (estudo de longo período)**. 2011.f. Tese (Doutorado em Energia) - Universidade Federal do ABC, Santo André, 2011. Disponível em: <http://pgene.ufabc.edu.br/conteudo/bloco2/publicacoes/Dissertacoes2011/DissertacaoGustavoCarvalho.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2021.

CASSOL, C.J. **Avaliação da qualidade das águas do rio Ocoí, tributário do reservatório de Itaipu-PR**. 2015.50p. Trabalho de Conclusão de Curso em Tecnologia em Gestão Ambiental - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2015.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2010. **Índice do estado trófico**. Disponível: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/04.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2021.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**: 2006. São Paulo: CETESB, 2007. (Série Relatórios).

CHAPMAN, D.; KIMSTACH, V.992. The selection of water quality variables. In: IAP – Instituto Ambiental do Paraná. **Monitoramento das águas dos reservatórios do estado do Paraná, no período de 2005 a 2008**. Curitiba, 2009. Disponível em: http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2021-03/relatorio_reservatorios_2005_2008.pdf. Acesso em: 18 jun. 2021.

DERISIO, J. C. **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental**. 3 ed. São Paulo: signus, 2007. In CARDOSO, ELLEN TALITA SARTÓRIO. **Avaliação do grau de trofia e da qualidade da água de um braço do reservatório de Itaipu – Brasil**. Dissertação de mestrado em Energia. Universidade Federal do ABC. Santo André, 2011.

DI BITETTI, M.S.; PLACCI, G.; DIETZ, L.A. **Uma visão de Biodiversidade para a Ecorregião Florestas do Alto Paraná – Bioma Mata Atlântica: planejando a paisagem de conservação da biodiversidade e estabelecendo prioridades para ações de conservação**. World Wildlife Fund, Washington, D.C. 2003. Disponível em: https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/altoparana_versao_completa_portugues.pdf . Acesso em: 09 jul. 2021.

ECOREPORTCARD. **Fósforo Total**. 20--, University of Maryland Center for Environmental Science. Disponível em: <https://ecoreportcard.org/pt/cartoes-relatorios/baia-de-guanabara/indicadores/fosforo-total/>. Acesso em: 01 jul. 2021.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2002. **Agricultura e Qualidade da Água: Contaminação da Água por Nitrito**. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/546464/1/doc57.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2021.

ESPÍNDOLA, E. L. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T; RIETZLER, A. C. & TUNDISI, J. G. 2000. **Spatial heterogeneity of the Tucuruí Reservoir (State of Pará, Amazônia, Brasil) and the distribution of zooplankton species**.

ESTEVES, F. de A. (ed.). **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 625 p.

FILHO, L. M. De A. L. **Correlação e Regressão**. 2021. Universidade Federal da Paraíba, Departamento de estatística.

GARCIA, H.; *et al.* Índices de qualidade da água dos reservatórios de Sergipe. **Green Lifestyle Becoming The Men's New Way Of Life**, Cubatão, p. 105-108, 23 jul. 2014. Science and Education Research Council (COPEC). <http://dx.doi.org/10.14684/shewc.14.2014.105-108>. Disponível em:

<http://copec.eu/congresses/shewc2014/proc/works/22.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2021.

GASTALDINI, M.C.C.; SOUZA, M.D.S., 1994. **Diagnóstico do Reservatório do Vacacaí Mirim através de Índices de Qualidade de Água**. 1º Seminário sobre Qualidade de Águas Continentais no Mercosul, Porto Alegre. apud CPRH – AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2010. Índice e indicadores de qualidade de água – Revisão da Literatura. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume1.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2021.

HAHN, N. S., AGOSTINHO, A.A., GOMES, L. C. e BINI, L. M.; **Estrutura trófica da ictiofauna do reservatório de Itaipu (Paraná-Brasil) nos Primeiros Anos de sua Formação**; Revista Interciência, vol 23, nº 5: 299-305, Caracas, 1998. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/5202/1/209.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2021.

HENRY, R., CARMO, C.F.; BICUDO, D.C.; **Trophic status of a Brazilian urban reservoir and prognosis about the recovery of water Quality**. Acta Limnol. Bras., vol. 16 n. 3, 251-262 p., São Paulo, 2004. Disponível em: [https://www.ablimno.org.br/acta/pdf/acta_limnologica_contents1603E_files/Art4_16\(3\).pdf](https://www.ablimno.org.br/acta/pdf/acta_limnologica_contents1603E_files/Art4_16(3).pdf). Acesso em: 02 jul. 2021.

IAP – Instituto Ambiental do Paraná (org.). **Monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios do estado do Paraná, no período de 1999 a 2004**. Curitiba, 2004. Disponível em: http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2021-03/relatorio_monit_qual_aguas_reservatorios_1999-2004.pdf. Acesso em: 08 jun. 2021.

IAP – instituto Ambiental do Paraná (org.). **IAP/ITAIPU Nº 4500034475 para o monitoramento da qualidade da água do rio Paraná 3 e balneabilidade das**

praias artificiais. Programa de monitoramento da qualidade das águas do rio Paraná e reservatório da Itaipu. Súmula de novembro de 2016.

IAP – instituto Ambiental do Paraná (org.). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Plano de trabalho proposta técnico-financeira para monitoramento da qualidade das águas do reservatório de Itaipu.** Paraná, 2019.

IAP - instituto Ambiental do Paraná (org.). **Qualidade das águas dos reservatórios do estado do Paraná.** 2017. Disponível em: http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2021-03/relatorio_2017.pdf. Acesso em: 18 jun. 2021.

IAP – Instituto Ambiental do Paraná (org.). **Monitoramento das águas dos reservatórios do estado do Paraná, no período de 2005 a 2008.** Curitiba, 2009. Disponível em: http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2021-03/relatorio_reservatorios_2005_2008.pdf. Acesso em: 18 jun. 2021.

IAT- Instituto Água e Terra. **Monitoramento da qualidade das águas.** Curitiba: Repidisca, 2004. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Monitoramento-da-Qualidade-das-Aguas>. Acesso em: 12 mai. 2021.

ITAIPU BINACIONAL. **PERGUNTAS FREQUENTES.** 2010. Foz do Iguaçu PR. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/perguntas-frequentes>. Acesso em: 10 maio 2021.

ITAIPU BINACIONAL. **Monitoramento da bacia hidrográfica e balneabilidade.** 2018. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/meio-ambiente/monitoramento-da-bacia-hidrografica-e-balneabilidade>. Acesso em: 10 maio 2021.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. São Paulo: USP/ Departamento de Ecologia., 2004. 235 f. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2004.

LEVORLINO, L.F. **O que é um estudo de autodepuração?: o processo natural de recuperação de um corpo hídrico que recebe estes lançamentos em excesso de material biodegradável é chamado de autodepuração**. Portal Tratamento de Água. Alameda dos Jurupis – SP, 2019. Acesso em: 04 ago. 2021. Acesso em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/estudo-autodepuracao/>.

MARTINS, M.E.G. **Desvio padrão amostral**. 2013. Revista de Ciência Elementar, 1(01):0021. Disponível em: https://www.fc.up.pt/pessoas/jfgomes/pdf/vol_1_num_1_18_art_desvioPadraoAmostral.pdf. Acesso em: 22 ago. 2021.

MEREL, S. **Cianobactérias, um risco à vida**. Desafios do Desenvolvimento, Arizona, 05 out. 2014. Disponível em: http://desafios.ipea.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=3078&catid=29&Itemid=34. Acesso em: 01 jul. 2021.

MEES, A. Unidade 1: Reservatórios. 2021. Qualidade de água em reservatórios. Disponível em: https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2205/1/Unidade_1.pdf. Acesso em: 19 ago. 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano**. Brasília – DF. 2006. Secretária de Vigilância em Saúde. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf. Acesso em: 17 mai. 2021.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **O que é CONAMA?**. Publicado em: 15/05/2018. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/o-que-e-o-conama>. Acesso em: 19 ago. 2021.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial da União: **Portaria nº 630, de 5 de novembro de 2019**. Publicado em: 08/11/2019. Edição: 217. Seção:1. Página: 117. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=744>. Acesso em 08 jun. 2021.

OLIVEIRA, B. **Coeficientes de Correlação**. 2019. Oper. Disponível em: <https://operdata.com.br/blog/coeficientes-de-correlacao/>. Acesso em: 21 ago. 2021.

PAULA, L.M. de. **Avaliação da qualidade da água e autodepuração do rio Jordão, Araguari (MG)**. 177p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

PEIXOTO, D.W.B.; PEREIRA FILHO, W.; SANTOS, F.C. dos. **Transparência da água do reservatório passo real e fator de reflectância em imagens do sensor moderate resolution imaging spectroradiometer – modis**. Geo Uerj, Rio de Janeiro, n. 26, p. 288-300, 21 ago. 2015. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/geouerj.2015.12944>. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/viewFile/12944/13403>. Acesso em: 13 maio 2021.

POMPÊO, M.L.M. 1999. **O disco de Secchi**. *Bioikos*, 13(1/2): 40-45. IAP – Instituto Ambiental do Paraná. **Monitoramento das águas dos reservatórios do estado do Paraná, no período de 2005 a 2008**. Curitiba, 2009. Disponível em: http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2021-03/relatorio_monit_qual_aguas_reservatorios_1999-2004.pdf. Acesso em: 18 jun. 2021.

PORTAL INFOHIDRO. Instituto Mineiro de Gestão das Águas - Igam. **Índice de Estado Trófico – IET**. 2018. Belo Horizonte - MG Disponível em: <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/sem-categoria/322-indice-de-estado-trofico-iet>. Acesso em: 12 maio 2021.

RIBEIRO FILHO, R. A., 2006. **Relações tróficas e limnológicas no reservatório de Itaipu: uma análise do impacto da biomassa pesqueira nas comunidades planctônicas**. Tese (doutorado) – Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-22012007-154056/publico/Rinaldo_Antonio_Ribeiro_Filho.pdf. Acesso em: 24 mai. 2021.

SANTOS, J.S. dos; BECK, L.; WALTER, M.; SOBCZAK, M.; OLIVO, C.J.; COSTABEBER, I.; EMANUELLI, T. **Nitrato e nitrito em leite produzido em sistemas convencional e orgânico**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 304-309, jun. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612005000200021>

SEGANFREDO, D. **Estudo da cobertura vegetal nativa da bacia do rio Ocoy, Oeste do Paraná subsídios para a implantação de um corredor entre a biodiversidade entre o parque nacional do Iguaçu e o lago de Itaipu**. 2015. Medianeira – PR. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1396/1/MD_PPGTAMB_M_Seg-anfredo%2cDiogo_2015.pdf. Acesso em: 13 jun. 2021.

TOLEDO JR., A.P.; TALARTICO, M.; CHINEZ, S.J.; AGUDO, E.G. (1983). **A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12, Camburiú. Anais. In: CARDOSO, E.T.S. **Avaliação do grau de trofia e da qualidade da água de um braço do reservatório de Itaipu** – Brasil. Dissertação de mestrado em Energia. Universidade Federal do ABC. Santo André, 2011.

TUNDISI, J.G; TUNDISI, M.T, 2008. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos.

ZANELLI S., JR. **Nitrogênio Amoniacal (N-NH₃)**, Ago 2018. Foxwater.
Disponível em: <https://www.foxwater.com.br/blog/3/nitrogenio-amoniacaal-n-nh3>
. Acesso em 01 jul. 2021.